

УДК 678.028:519.977.5

С. М. Москвіна, к. т. н., доц.; С. А. Білоконь

МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНОГО РИЗИКУ

У статті запропоновано в якості моделі високотемпературного об'єкта використовувати поєднання класичної та нейронечіткої моделі з метою підвищення ефективності прийняття рішень при виникненні вибухонебезпечних ситуацій. На відміну від існуючих моделей, дозволяє на основі розроблених нечітких правил враховувати умови та характеристики ризикових ситуацій.

Ключові слова: Теплові об'єкти, моделювання стану високотемпературних об'єктів, умови ризику у високотемпературних об'єктах, нейронечітка модель високотемпературних об'єктів

Вступ

На сьогоднішній день багато уваги приділяється енергозберігаючим технологіям у побутових приладах, у спорудах міського господарства та на виробництві [1]. Значна частина таких об'єктів пов'язана з високими температурами, наявністю газу під високим тиском, що зумовлює розв'язання актуальних задач забезпечення їх вибухонебезпечності та прогнозування ризику. Однією з таких задач є розробка моделей об'єктів, що розглядаються, для визначення умов та характеристик ризикових ситуацій.

У роботі під високотемпературними об'єктами будемо розуміти як технічні пристрої (конструкції, апарати, машини та їх елементи), так і теплофізичні процеси, що перебігають у термодинамічних системах таких пристроїв [4]. Основною характеристикою високотемпературних об'єктів є температурна крива, яка досягається певною сукупністю вимог, серед яких може бути заданий рівень температури й тиску певних зон об'єкта. Моделювання стану високотемпературних об'єктів в умовах ризику є складною задачею, яка потребує прогнозування та попередження умов переходу системи в область ризику. Ситуацією з підвищеним ризиком будемо вважати такий стан об'єкта, при якому певні його параметри, такі як: температура, об'єм газів, тиск, близькі до гранично допустимих меж.

Аналіз проблеми

Розглянемо класичний підхід до моделювання високотемпературних об'єктів. Звичайно функціонування високотемпературних об'єктів описується системою диференціальних рівнянь у частинних похідних, яку можна отримати на основі рівняння теплового балансу або на основі моделювання температурно-часових режимів нагріву об'єкта. Але за детального опису певного високотемпературного об'єкта та при визначенні початкових і граничних умов його функціонування системи диференціальних рівнянь у частинних похідних можуть бути великої розмірності, що пояснюється розглядом більшої кількості параметрів процесу.

Розглянемо відому модель промислового котла, яка на сьогоднішній день використовується в більшості міських господарств [4]:

$$P_{\pi} = P_{m,ном.i} (k_{1i} \mu_{1i} p_{1i} + k_{2i} \mu_{2i} p_{2i}), \quad (1)$$

де P_{π} – тиск у котлі; $P_{m,ном.i}$ – значення номінального тиску; p_{1i} , p_{2i} , μ_{1i} , μ_{2i} – тиск пари та відкриття регулюючих клапанів циліндрів високого та середнього тиску ($\mu_{2i} = \text{const}$); k_{1i} , k_{2i} – частки потужності циліндра високого тиску.

При повному визначенні початкових та граничних умов його функціонування отримуємо систему диференціальних рівнянь у частинних похідних виду (2):

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \mu_{1i}}{\partial t} &= \frac{1}{T_{apci}} \left(\frac{1 - \omega_{\bar{a}}}{\sigma_{apxi}} + \mu_{moi} + \Delta \mu_{mi} - \mu_{1i} \right); \\
 \frac{d \Delta \mu_{1i}}{dt} &= \frac{k_{qki}}{T_{mncbi}} (1 - \omega_{\Gamma_i}); \\
 \frac{dp_{1i}}{dt} &= \frac{1}{T_{tpi}} \left(\sqrt{\frac{p_{ki} - p_{1i}}{k_{tpi}}} - \mu_{1i} p_{1i} \right); \\
 \frac{dp_{2i}}{dt} &= \frac{1}{T_{pli}} (\mu_{1i} p_{1i} - \mu_{2i} p_{2i}); \\
 \frac{dp_{ki}}{dt} &= \frac{1}{T_{ki}} \left(D_i - \sqrt{\frac{p_{ki} - p_{1i}}{k_{tpi}}} \right); \\
 \frac{dD_i}{dt} &= \frac{1}{T_{vi}} (v_i - D_i); \\
 \frac{dv_i}{dt} &= \frac{1}{T_{pi}} \left(\frac{1 - \omega_{\bar{a}}}{\sigma_{apci}} - \frac{P_{1i} - 1}{\sigma_{Tpi}} - v_i + v_{0i} - k_{p1} \frac{dP_{1i}}{dt} \right),
 \end{aligned} \tag{2}$$

де p_{1i} , p_{2i} , μ_{1i} , μ_{2i} – тиск пари та відкриття регулюючих клапанів циліндрів високого та середнього тиску ($\mu_{2i} = \text{const}$); p_{ki} – тиск пари на виході з котла; D_i – кількість пари, що генерується котлом; v_i – узагальнений показник, що характеризує подачу палива, води й повітря в котел; σ_{apxi} , σ_{Tpi} – статизми регуляторів швидкості паливоподачі в котел; k_{p1} – коефіцієнт підсилення регулятора навантаження котла по першій похідній тиску “свіжої” пари; k_{Tpi} – коефіцієнт, що характеризує втрати тиску в трубопроводі “свіжої” пари; T_{pi} , T_{pli} , T_{apci} , T_{mncbi} – сталі часу трубопроводу “свіжої” пари; μ_{moi} , $\Delta \mu_{mi}$ – керуючі сигнали системи вторинного регулювання частоти й потужності; k_{qki} – коефіцієнт частотної корекції системи АРЧМ, k_{1i} , k_{2i} – частки потужності циліндра високого тиску.

Досліджуючи такі моделі високотемпературних об’єктів, використовують аналітичні, чисельні, статистичні та варіаційні методи. Аналітичні методи представляють розв’язок у вигляді аналітичної функції, що дозволяє дослідити вплив параметрів моделі та вхідних даних на результат розв’язку. Чисельні й аналітичні методи мають свої переваги та недоліки. Чисельні методи дозволяють розв’язувати складні красиві задачі, розв’язок яких знайти аналітично неможливо або складно, і дозволяють отримати наближені значення досліджуваної функції в заданих точках області дослідження. Однак чисельні методи розв’язання диференціальних рівнянь у частинних похідних, крім наближеного розв’язку, суттєво залежать від вимог до збіжності, які необхідно визначати при виборі різницевої схеми, та відповідно від швидкості їх розв’язання на ЕОМ, що стрімко падає зі збільшенням параметрів об’єкта. Варіаційні методи досить поширені й дозволяють отримати значення функції, яка досліджується, проте отримати цільову функцію, яка описує об’єкт дослідження, дуже важко.

Слід зазначити, що безпосередньо параметри ризикових ситуацій звичайно не входять у такі моделі, а визначаються при комп’ютерному моделюванні отриманих моделей. Крім того, на практиці аналіз вибухонебезпечних ситуацій певного об’єкта звичайно представлений в інструкціях у вигляді набору факторів, які впливають на їх виникнення. Так, наприклад, у моделях котлів, у випадку ситуації з підвищеним ризиком (наприклад, різкого підвищення тиску пари) необхідне втручання оператора, помилкові дії якого підвищують ризик вибуху.

Умови виникнення такої ситуації звичайно описані в інструкції у вигляді факторів:

- зміна температури живильної води (зі зниженням температури живильної води перегрів пари збільшується);
- зміна вологості палива (при зниженні вологості твердого палива температура перегрітої пари знижується, а з підвищенням вологості – збільшується);
- температура перегрітої пари залежить не лише від вологості, а й від інших властивостей палива, до яких належить ступінь чорноти (прозорості) факела в топці.

Для моделювання таких станів звичайно використовують експертні оцінки [4], які дозволяють визначати умови та параметри, що характеризують наявність ризикових ситуацій. Основною перевагою такого підходу є комплексне рішення проблеми в доступній формі, але недоліками є можлива неоднозначність та недостатня обґрунтованість окремих рішень за рахунок впливу досвіду роботи експерта з певним об'єктом [3].

Отже, беручи до уваги вибухонебезпечність високотемпературних об'єктів, можна відзначити, що в моделях таких об'єктів необхідно враховувати параметри й умови виникнення ризикових ситуацій, що дозволить формалізувати алгоритм прийняття рішень при управлінні.

Підхід до моделювання стану високотемпературних об'єктів

Останнім часом спостерігається впровадження в різні галузі виробництва інтелектуальних технологій, які дозволяють отримати моделі та спрощені алгоритми прийняття рішень. **Метою** цієї роботи є розробка узагальненої моделі високотемпературного об'єкта з використанням як традиційних чисельних методів, так й інтелектуальних технологій, що дозволить врахувати характеристики вибухонебезпечних ситуацій.

Моделювання стану високотемпературних об'єктів доцільно розглядати як поєднання класичної моделі у вигляді системи диференційних рівнянь у частинних похідних (СДР у ЧП) з нейронечіткою моделлю на основі інтелектуальних технологій. Варто зазначити, що при побудові нейронечіткої моделі потребується додаткова інформація, у якості якої, на наш погляд, можна використовувати результати моделювання класичної моделі, що дозволить сформулювати набір правил, які описують процес функціонування об'єкта. Для довчання нейронечіткої мережі й визначення факторів і параметрів ризикових ситуацій будемо використовувати експертні оцінки. За експертними оцінками формулюється додаткова частина правил до бази знань, що забезпечить знання на випадок можливих ризикових ситуацій, шляхом прогнозування процесів, які протікають у високотемпературному об'єкті. Етап коригування призначений для підстроювання параметрів високотемпературного об'єкту.

Розглянемо детальніше етапи побудови моделі на прикладі моделі парового котла. Як зазначається в [2], найбільш впливовими параметрами на процеси, що протікають у парових котлах, є наступні чотири змінні, які подано відповідно до рівнянь (1) та (2): $P_E = P_a - P_{m.ном.i}$ – відхилення тиску в паровому котлі, що визначається як різниця між поточним значенням та певним стандартним значенням, що відповідає нормі; S_E – швидкість вимірювання P_E ; $C_{PE} = P_{\tau(i-1)} - P_{m.ном.(i-1)}$ – відхилення тиску, що визначається як різниця між поточним значенням P_E і значенням, отриманим у попередньому вимірюванні; C_{EE} – швидкість відхилення C_{PE} . Стан котла будемо досліджувати при зміні ступеня підігріву пари, тобто зміні тиску ($H_C = \Delta\mu_i$ – зміна підігріву).

Для опису значень змінних використовувались наступні лінгвістичні значення (скорочені назви відповідають першим літерам слів англійською мовою для подальшого розуміння експертом): PB – велике додатне, PM – середнє додатне, PS – мале додатне, NO – нульове, NS – мале від'ємне, NM – середнє від'ємне, NB – велике від'ємне. Для зміни тиску H_C за умови підвищеного ризику було взято великий додатний стрибок PB.

За результатами моделювання класичним методом була створена нейронечітка мережа типу ANFIS, що реалізує систему нечіткого виводу Сугено у виді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу. При цьому використовувались для входу значення P_E та C_{PE} , а для виходу H_C . Призначення шарів такі: перший шар – терми вхідних змінних; другий шар – антецеденти (посилання) нечітких правил; третій шар – нормалізація ступеня виконання правил; четвертий шар – вивід правил; п'ятий шар – агрегування результату, отриманого за різними правилами. Входи мережі в окремий шар не виділяються. На рис. 1 зображено загальний вигляд ANFIS-мережі з трьома вхідними змінними (x_1, x_2, x_3) і п'ятьма нечіткими правилами. Для лінгвістичної оцінки вхідних змінних x_1, x_2, x_3 використовується по 5 термів.

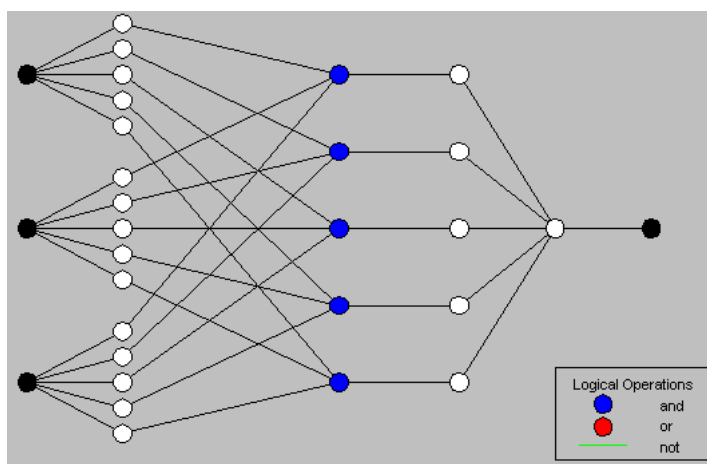


Рис. 1. Архітектура нейронечіткої мережі станів парового котла

У результаті було отримано набір правил, за яким оцінюється стан високотемпературного об'єкта, тобто парового котла, який наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Набір нечітких правил стану котла

| P_E | C_{PE} | H_C | P_E | C_{PE} | H_C |
|-------|----------|-------|-------|----------|-------|
| NB | HE | PB | PO | NB | PM |
| NB | NS | PM | PO | NM | PM |
| NM | NS | PM | PO | PB | NM |
| NS | PS | PM | PO | PM | NM |
| NS | NO | PM | PS | PS | NM |
| NO | PB | PM | PS | NO | NM |
| NO | PM | PM | PB | NS | NM |
| NO | NB | NM | PM | NS | NM |
| NO | NM | NM | NO | PS | PS |
| PO | NO | NO | NO | NS | NS |
| NO | NO | NO | PO | NS | PS |
| PO | NO | NO | PO | PS | NS |
| PO | NO | NO | | | |

Як видно з даного набору правил, великий додатній стрибок тиску, що характеризує ризикову ситуацію, описується лише одним правилом. Цей факт свідчить про те, що область ризику в цій моделі є слабо формалізована. Після обробки правил експертом у вищевказану сукупність додалось два наступних правила, що призвело до доповнення бази знань з позиції ризикових ситуацій:

- якщо $P_E = NB$, то (якщо $C_{PE} = NB$, то $H_C = PB$);
- якщо $P_E = NB$, то (якщо $C_{PE} = NM$, то $H_C = PB$).

Коригування стану об'єкта в ризикових ситуаціях, коли тиск раптово збільшувався, здійснювалося шляхом зміни вхідних параметрів моделі на такі, що не задовольняють відповідні правила. Результати моделювання щодо порівняння швидкостей розглянутих моделей та запропонованої моделі наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Швидкості моделей стану котлів

| Модель | Тепловий баланс | Розподіл температур | Класична з нейро-нечіткою |
|--------------------------------|-----------------|---------------------|---------------------------|
| Показник | | | |
| Швидкість отримання результату | 8 с | 6 с | 1,5 с |

За результатами моделювання було встановлено точність запропонованої моделі, що становить 0.92, що підтверджує її адекватність. Крім того вона дозволяє враховувати ризикові ситуації. Отже, запропонований підхід можна застосовувати до високотемпературних об'єктів, які можуть містити ситуації з підвищеним ризиком.

Висновок

У цій роботі запропоновано розглядати модель високотемпературних об'єктів як поєднання класичної та нейронечіткої моделей. Такий підхід дозволив на основі розроблених нечітких правил враховувати умови та характеристики ризикових ситуацій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бойко Э.А. Паровые котлы. – Красноярск.: Октябрь, 2005. – 135 с.
2. Орлов А.И. Теория принятия решений – М.: Март, 2004. – 245 с.
3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. / под ред. Аверкина А.Н., Батыршина И.З., Блишуна А.Ф. – Г.: Наука, 1986. – 235 с.
4. Мацевитый Ю.М. Обратные задачи теплопроводности в 2-х т. – Киев: Наук. думка, т.1. Методология, 2002. - 405 с.
5. Мацевитый Ю.М. Обратные задачи теплопроводности в 2-х т. – Киев: Наук. думка, т.2. Приложения, 2003. - 392 с.

Москвіна Світлана Михайлівна – к. т. н., доцент кафедри комп'ютерних систем управління, e-mail: moskvina@ukr.net, тел.: (0432)-598222.

Білоконь Сергій Анатолійович – аспірант кафедри комп'ютерних систем управління, e-mail: serge.belokon@gmail.com, тел.: (0432)-598222.

Вінницький національний технічний університет.