

ЕДИН МЕТОД ЗА РАЗМИТА НЕЛИНЕЙНА СИМУЛАЦИЯ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ПЛЪТНОСТА НА НЕУТРОНИЯ ПОТОК ПО ВИСОЧИНА НА АКТИВНАТА ЗОНА

доц. д-р инж. Валентин Станчев, гл.ас. инж. Александър Григоров
катедра "Топло и ядрена енергетика", ТУ – София

Abstract: In the paper is considered one fuzzy unlinear simulation method for neutron flux allocation at the elevation of the nuclear reactor core. The simulation method is based on linguistic rule system and strategies for obtaining of the fuzzy conclusion by using of Mamdani's minimization rule or Larsen's operation rule.

Въведение

На практика всички физически процеси в реалния свят строго погледнато са нелинейни. Абстрахирането ни от реалния свят и стремението ни към по-прости и лесно разбираеми описания е това, което ни води до използването на линейни системи при моделирането на тези процеси.

Линейните модели са прости и разбираеми и в много случаи те осигуряват приемливи симулации на реалните процеси, които ние наблюдаваме. За съжаление, само относително простите процеси могат да бъдат моделирани с теорията на линейните системи и само много малка част от нелинейните системи имат верифицирани решения. Повечето от наблюдаваните процеси имат само малка част от информацията, на основата на която може да се развие алгоритмично обяснение. Огромна част от информацията, с която се разполага за повечето процеси е нечислова, размита по съдържание и в лингвистична форма. Поради това и с отчитане на нелинейността на реалните процеси, то методите на размитата нелинейна симулация (РНС) стават все по-актуални и намират все по-голямо приложение.

I. Размита нелинейна симулация чрез размити правила.

Ако един процес може да се опише с определен алгоритъм, то могат да се опишат и множество решения за дадено множество от входни данни. Ако, обаче процесът не може да се редуцира до алгоритмична форма, то по-вероятно и практически почти винаги възможно е да се наблюдават и/или измерват входно-изходни характеристики (данни) на системата която реализира процеса. Връзката между тези характеристики може да се опише чрез размити нелинейни симулационни методи, като най-често се използват системи базиращи се на размити лингвистични правила. Една система базирана на размити правила се състои от:

а) множество от наблюдавани и регистрирани входни данни, разглеждани като лингвистична променлива, стойностите на която могат да бъдат представени от група размити подмножества (термини) - A_k , $k=1,2,\dots$ дефинирани над универсалното входно множество - X , описани чрез функции на принадлежност - $\mu_{A_k}(x)$;

б) множество от наблюдавани и регистрирани изходни данни, също разглеждани като лингвистична променлива, стойностите на която се представят от група размити подмножества (термини) - B_p , $p=1,2,\dots$ дефинирани над универсалното изходно множество - Y , описани чрез функции на принадлежност - $\mu_{B_p}(y)$;

в) множество от размити лингвистични правила, които отразяват разбирането на инженера (експерта) за поведението на системата и връзката (най-често нелинейна)

между входа и изхода, които могат да се опишат като размити отношения - R_q , $q=1,2,\dots$ е функция на принадлежност - $\mu_{R_q}(x,y)$.

Най-често размитите правила са под формата на метампликации с проста структура, наричани често "размити релационни уравнения":

$$(1) \quad \text{Ако } A, \text{ то } B;$$

или

$$\text{Ако } x \in A, \text{ то } y \in B.$$

Размитото подразбиране (1) е известно като обобщена форма на извод и може да се представи като размито композиционно уравнение:

$$(2) \quad B = A \circ R,$$

където: "o" представлява общ метод на композиция на размити отношения.

В уравнение (2) е неизвестно само размитото отношение R. Ако R е известно, то за всяка входна стойност - A, може да се получи съответната изходна стойност - B. Това размито отношение може да се определи за всяко едно просто правило (1), по зависимостта [2]:

$$(3) \quad R = (A \times B) \cup (\bar{A} \times Y),$$

където: с "x" е означена операцията "декартово произведение", а с " $\bar{\quad}$ " е отбелязано допълнението на размитото подмножество - A.

Функцията на принадлежност (ФП) към R има следния вид:

$$(4) \quad \mu_R(x,y) = \max \{ [\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)], [1 - \mu_A(x)] \},$$

за $x \in A$, когато $x \in X$ и $A \subset X$ и за $y \in B$, когато $y \in Y$ и $B \subset Y$.

Ако структурата на простото правило е [1]:

$$(5) \quad \text{Ако } A, \text{ то } B, \text{ иначе } C;$$

или

$$\text{Ако } x \in A, \text{ то } y \in B, \text{ иначе } y \in C,$$

то:

$$(6) \quad R = (A \times B) \cup (\bar{A} \times C)$$

и

$$(7) \quad \mu_R(x,y) = \max \{ [\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)], [(1 - \mu_A(x)) \wedge \mu_C(y)] \},$$

при което:

$$(8) \quad \mu_R(x,y) = \max \{ \min [\mu_A(x), \mu_B(y)], \min [(1 - \mu_A(x)), \mu_C(y)] \}.$$

По принцип функциите на принадлежност (ФП) на термините, разглеждани като подмножества дефинирани над съответното универсално множество се препокриват заради размитостта (неопределеността, неяснотата) в тяхните дефиниции.

За реализацията на РНС, най-често се използва описание на нелинейната система, чрез размити релационни уравнения - R_i изразени в каноническа форма, базирана на система от размити правила, показани в табл. 1.

Табл. 1

<p>R1: Ако $x \in A1$, то $y \in B1$ R2: Ако $x \in A2$, то $y \in B2$ Rn: Ако $x \in An$, то $y \in Bn$</p>

В зависимост от начина на представяне на стойностите на входната - x и изходната - y променливи са известни различни типове размити модели: входно-изходните променливи са с фиксирани стойности; x - ограничени множества (интервали), а y - фиксирани стойности; x - ограничени множества (интервали), а y - размити подмножества; x - размити подмножества, а y - фиксирани стойности (или като предварително определени функции на x) и представяне на входно-изходните променливи като размити подмножества, дефинирани над съответните универсални множества. В предлагания метод за РНС се използва последният тип - най-общ размит модел на нелинейна симулация.

II. Същност на предлагания метод.

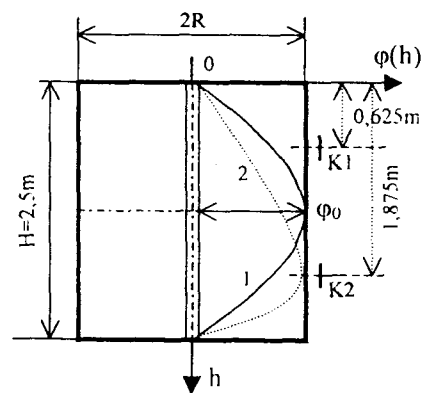
Идеята и възможната реализация на предлагания метод ще разгледаме върху един пример за симулация на разпределението на плътността на неутронния поток по височина на активната зона (АЗ) на ядрен реактор (ЯР).

На фиг.1 с крива 1 е показано теоретичното изменение на плътността на неутронния поток (ПНП) - $\varphi(h)$ при изменение на височината - h от нула до $h_{\max} = H = 2,5 \text{ m}$ (за ВВЕР-440), което следва синусовия закон на изменение, отчитан по положителната полуълна:

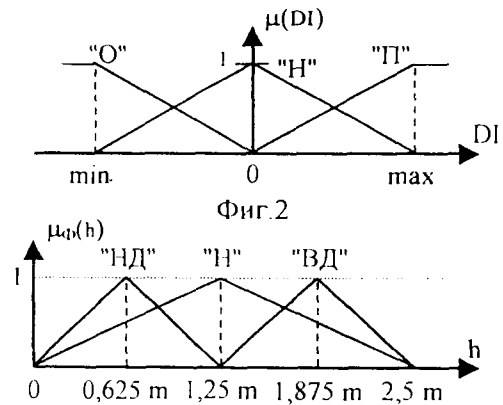
$$(9) \quad \varphi(h) = \varphi_0 \sin(h \cdot \pi/H), \text{ за } h = (0, H),$$

където: φ_0 е максималната стойност на ПНП при изведен регулиращ орган (РО).

При въвеждането на РО, в процеса на управление на ЯР, поради изменението на количеството гориво и въвеждане на поглътител, настъпват изменения в разпределението на $\varphi(h)$ по височина, показано с крива 2 на фиг.1. В процеса на експлоатация на ЯР е необходимо, от гледна точка на безопасността на АЗ, да се познава и наблюдава формата на $\varphi(h)$ след настъпилите изменения, с отчитане и на това, че причината за допълнителните изменения може да бъде и неизправност на горивни елементи.



Фиг.1



Фиг.3

По принцип информация за реалното разпределение на $\varphi(h)$ може да се получи чрез специално подготвена процедура, изискваща постепенно придвижване на йонизационните камери по височината на зоната. Апаратурата за контрол на неутронния поток (АКНП) на ВВЕР-440 и изискванията за ядрена безопасност не позволяват такъв измерване да се извършва непрекъснато и в реално време.

Прилагането на РНС може да позволи лесно постигане на задоволителни резултати, без да е необходимо да се придвижват йонизационни камери.

Нека да приемем, че са разположени две еднакви йонизационни камери K1 и K2 (фиг.1) на равно разстояние по височина, от горе и от долу, спрямо средата на АЗ. При такова разположение на камерите, ако $\varphi(h)$ е без изкривяване, то разликата между двата тока I2 и I1 ще бъде равна на нула. В зависимост от деформацията (изкривяването) на $\varphi(h)$, един от токовете ще нараства, а другия ще намалява. Този факт ни позволява да дефинираме входната величина за симулирането на ПНП по височина на АЗ, като разлика между двата тока:

$$(10) \quad DI = I2 - I1.$$

Входната променлива DI ще разглеждаме като лингвистична променлива с обхват на входното универсално множество (УМ) равен на $2 \{I2_{\max} - I1_{\min}\}$. Разделяме УМ на два равни интервала, върху които дефинираме три термина: "О" – отрицателно ($I1 > I2$); "Н" – нулево и "П" – положително ($I1 < I2$) отклонение на DI. Избираме триъгълни ФП, показани на фиг.2.

Исходната величина от РНС е вида на формата - "Ф" за ПНП по височина на АЗ - $\varphi(h)$ в зависимост от DI, с УМ равно на височината на АЗ - 2,5m. Като най-близко и лесно за описание приближение към синусовия характер на изменение на $\varphi(h)$, за вида на ФП към термините на изхода, избираме също триъгълна форма - фиг.3. Определените три термина са: "НД" – нискодеформирана форма, съобразно избраната координатна система на фиг.1, това означава деформация изтеглена в горната половина на АЗ; "Н" – нормална (недеформирана) форма и "ВД" – високо деформирана форма, деформацията е изтеглена в долната половина на АЗ.

В разглеждания пример са избрани минимален брой входно-изходни термини, т.к. целта е да се покаже ефектът от РНС, а не най-точното описание, тъй като за постигането му са необходими експериментални данни, с каквито не разполагаме. При тези условия могат да се ситезират три прости "АКО ... ТО" правила, напълно логически обосновани:

1. Ако DI е О, то Ф е НД;
2. Ако DI е Н, то Ф е Н;
3. Ако DI е П, то Ф е ВД.

За получаване на ФП на размитото заключение, която трябва да описва формата на $\varphi(h)$, ще използваме минимизационното правило на Мамдани, с последващо сумиране на ФП на размитите заключения за всяко сработило правило, по зависимостта:

$$(11) \quad \Phi(h) = \min_{h \in H} \left[1, \sum_i \alpha_i \wedge \mu_i(h) \right],$$

където:

- α_i е оценката по ФП на термина за входната променлива - DI на i-тото сработило правило;
- $\mu_i(h)$ – ФП на термина за изходната променлива на i-тото сработило правило;
- \wedge - операция "сечение".

III. Демонстративен пример - резултати.

За демонстрация на разглеждания метод и пример ще използваме графична интерпретация на РНС на формата на ПНП. Нека да изберем три стойности на входа: $DI = 0$; $DI = 0,25 \cdot \max$ и $DI = 0,5 \cdot \max$.

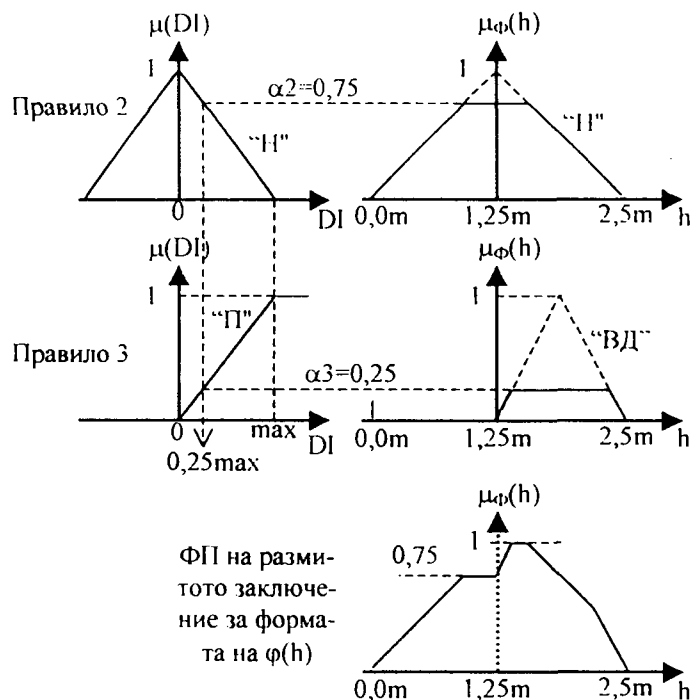
За $DI = 0$, входната стойност съвпада с реперният елемент на УМ, за който термина "Н" има оценка по ФП $\mu_n(DI) = \mu_n(0) = 1 = \alpha_2$, останалите два входни термина имат нулеви оценки по ФП или $\alpha_1 = \alpha_3 = 0$. Сработва само едно правило - второто, за което прилагайки зависимост (11) се получава $\Phi(h) = \mu_n(h)$, т.е. формата е недеформирана и съвпада с вида на избраната ФП за термина "Н" показана на фиг.3.

За $DI = 0,25 \cdot \max$ сработват две правила - второ и трето, при което оценките по ФП към термина "Н" за второто правило е $\mu_n(DI) = 0,75 = \alpha_2$, а за третото правило към термина "П" $\mu_n(DI) = 0,25 = \alpha_3$. Резултатът от приложението на формула (11), за този случай е даден на фиг.4

За $DI = 0,5 \cdot \max$ сработват същите две правила, но коефициентите вече са $\alpha_2 = \alpha_3 = 0,5$. Графичният вид на ФП на размитото заключение, за този случай, е показан на фиг.5 с непрекъснатата линия, а с прекъснатите линии са показани ФП към термините в дясната страна на сработилите правила.

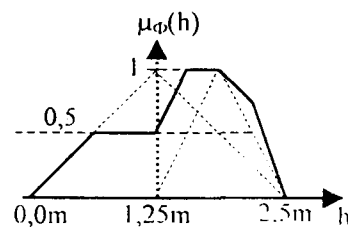
Получените резултати показват, че описаният метод може да бъде приложен за оценка на формата на ПНП. За получаване на по-добро симулиране и съвпадение с реалната форма е необходимо да се подберат по-подходящи по вид ФП към термините на изхода, което е от особено значение за формата на $\varphi(h)$.

За илюстрация на това твърдение, ще покажем резултата от повторението на разглеждания пример, но с ФП за изхода съвпадащи със синусоидалната функция, показани на фиг.6 с прекъснати линии. Ще използваме операционното правило на Ларсен за получаване на размитото заключение.



Фиг.4

ФП на размитото заключение за формата на $\varphi(h)$ при $DI = 0,5 \cdot \max$



Фиг.5

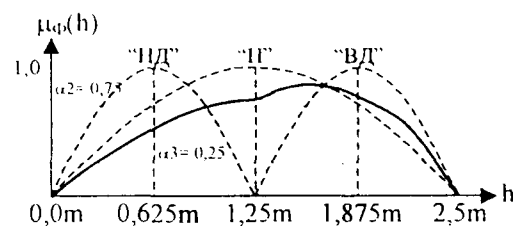
изискващо умножението на всяка ФП за изхода на съответния коефициент α_i , отчетен по ФП на входния термин с последващо сумиране на ФП на размитите заключения за всяко сработило правило, по зависимостта:

$$(12) \quad \Phi(h) = \min_{h \in H} \left[1, \sum_i \alpha_i \cdot \mu_i(h) \right]$$

Очевидно при $DI = 0$, когато сработва само второто правило, полученият резултат за формата на $\Phi(h)$ се представя само от ФП на изходящия термин "Н" – нормална форма и точно съвпада с теоретичната. При $DI = 0,25$ сработват второ и трето правило с коефициенти $\alpha_2 = 0,75$ и $\alpha_3 = 0,25$, като резултатът е показан на фиг.6 с плътна линия. При $DI = 0,5$ резултатът е подобен с този показан на фиг.6, но максимумът е изместен в дясно, както на фиг.5

Вижда се, че получените резултати са по-близки до очакваната реална форма на ПНП, като изменението ѝ е по-плавно.

След успешно разрито нелинейно симулиране на формата на изменение на ПНП по височината на АЗ, количествена оценка на плътността може да се получи по зависимостта: $\varphi(h) = \varphi_0 \cdot \Phi(h)$.



Фиг.6

Заключение

За получаване на достатъчно точна симулация по описания метод е необходимо да се дефинират по-голям брой термини за входа и изхода, което означава и по-голям брой размити правила. Необходимо е да се подбере подходяща форма на ФП към термините за изхода, която да се определи въз основа на експериментални данни за деформацията на ПНП по височина на АЗ в реални условия.

Изводът, който може да се направи от разгледаната идея за РНС не се състои в това, че ние можем да направим груби приближения на определени нелинейни зависимости, а в това, че съществуват много сложни нелинейни процеси при които можем само да наблюдаваме входно-изходната информация без да познаваме точното им математическо описание и чието поведение е известно само във форма на лингвистично описание, при което единствена възможност за моделирането му са методите на размитата нелинейна симулация, чрез размити релационни правила на познание.

Литература:

- [1] Кафаров В., Системный анализ процессов химической технологии (Применение метода нечетких множеств), М, Наука, 1986.
- [2] Timothy J. – Fuzzy logic with engineering applications, N.Y., Mc Graw – Hill, Inc., 1995.