

**ỨNG DỤNG MẠNG NƠON RBF NHẬN DẠNG NHIỀU PHI TUYẾN BẤT ĐỊNH
CHO HỆ SISO – BÌNH PHẢN ỨNG KHUẤY TRỘN LIÊN TỤC**
APPLICATION ON A UNCERTAIN NONLINEAR DISTURBANCE IDENTIFICATION
ON RBF NEURAL NETWORK FOR SISO SYSTEM – CONTINUOUS STIRRED TANK
RECTOR

Lê Thị Huyền Linh, Trần Thị Thanh Hải

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên

TÓM TẮT

Các đối tượng có trễ trong công nghiệp thường chịu tác động của nhiều loại nhiễu khác nhau, đặc biệt là với các nhiễu phi tuyến bất định (không đo được). Một trong các đối tượng đó là bình phản ứng khuấy trộn liên tục (Continuous Stirred Tank Reactor - CSTR). Trong bài báo đã triển khai và xây dựng phương trình toán học của đối tượng CSTR về dạng phương trình trạng thái động học như trong [3] và dựa vào phương pháp nhận dạng nhiễu trên cơ sở sử dụng mạng Nơon xuyên tâm (Radial Basic Functions - RBF). Thông qua kết quả mô phỏng trên Matlab Simulink đã khẳng định luật cập nhật trọng số giúp hệ thống ổn định và đảm bảo quá trình nhận dạng nhiễu được hội tụ với độ chính xác bất kỳ.

ABSTRACT

Industrial objects with delay are normally influenced by various kind of disturbance, especially the uncertain nonlinear disturbance (unmeasured disturbance). One of these objects is Continuous Stirred Tank Reactor – CSTR. This paper implemented and established the equation of CSTR object in dynamic state equations as [3] and based on disturbance identification method using Radial Basic Function – RBF. With the Matlab and Simulink simulation results, the online updated weight has been confirmed to make system stable and ensure the convergence of disturbance identification process with any expected accuracy.

Key word: Model Predictive Control, delay, disturbance identification, RBF Neural Network, Continuous Stirred Tank Reactor.

Ký hiệu

Chữ viết tắt

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$\mathbf{X}(t)$		Đầu ra của đối tượng điều khiển
$u(t)$		Tín hiệu điều khiển
$f(\mathbf{X})$		Nhiều phi tuyến không đo được
$\hat{f}(\mathbf{X})$		Hàm đánh giá của $f(\mathbf{X})$
w_i^*		Trọng số lý tưởng
$\phi_i(\mathbf{X})$		Hàm cơ sở thứ i
h	m	Mức dung dịch
C_b	mol/l	Nồng độ dung dịch

RBF	Mạng nơ ron xuyên tâm
CSTR	Bình phản ứng khuấy trộn liên tục

1. Mở đầu

Để điều khiển các đối tượng có trễ thường gặp trong các lĩnh vực công nghiệp đạt được chất lượng mong muốn đòi hỏi chúng ta phải nhận dạng được nhiễu, đặc biệt là các nhiễu không đo được bởi sự tồn tại của hiệu ứng trễ và các loại nhiễu trong công nghiệp thường làm cho hệ thống bị ảnh hưởng xấu, thậm chí trong nhiều trường hợp

còn làm cho hệ thống bị mất ổn định. Có thể kể đến các đối tượng có trễ thường được biết đến trong công nghiệp lọc dầu, hóa dầu, công nghiệp hóa chất, công nghiệp thực phẩm, công nghiệp giấy,...[1...7]

Dựa vào phương pháp nhận dạng nhiễu trên cơ sở sử dụng mạng Nơ ron RBF cho một lớp đối tượng có trễ [3], bài báo này triển khai ứng dụng cho đối tượng cụ thể là bình phản ứng khuấy trộn liên tục CSTR. Mỗi khi nhiễu tác động lên hệ thống sẽ được nhận dạng, bài toán bù trừ ảnh hưởng của chúng sẽ được giải quyết và bài toán tối ưu hóa trực tuyến cho các hệ điều khiển MPC sẽ có tính thực thi cao hơn. Áp dụng luật cập nhật trọng số Online đã được phát biểu và chứng minh ở định lý trong [3], ta dễ dàng thực thi và kiểm chứng để nhận dạng được nhiễu với độ chính xác tùy ý.

2. Cơ sở lý thuyết nhận dạng nhiễu trong hệ thống có trễ trên cơ sở sử dụng mạng Nơ ron RBF

Giả sử động học của đối tượng có trễ được miêu tả bằng phương trình trong không gian trạng thái:

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}u(t - \tau) + \mathbf{F}(\mathbf{X}) \quad (1)$$

Trong đó:

$\mathbf{X}(t)$ - đầu ra của đối tượng điều khiển

$u(t)$ - tác động điều khiển, $|u(t)| < U_{max}$

τ - thời gian trễ

\mathbf{A}, \mathbf{B} - các thông số đặc trưng cho động học của đối tượng

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix}; \mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}; \mathbf{F}(\mathbf{X}) = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ f(\mathbf{X}) \end{bmatrix}$$

$f(\mathbf{X})$ - nhiễu không đo được là hàm phi tuyến tron, phụ thuộc vào trạng thái (state depend disturbance) và biến đổi chậm $\dot{f}(\mathbf{X}) \approx 0$. Đây là dạng nhiễu thường gặp nhiễu trong các lĩnh vực công nghiệp [7].

Bài toán nhận dạng trên cơ sở sử dụng mạng Nơ ron đã thu hút sự quan tâm của rất nhiều tác giả [8 ... 12]. Ở đây để giải bài toán nhận dạng nhiễu đặt ra ở phần trên, chúng ta sẽ sử dụng mô hình song song, trong đó nhiễu $f(\mathbf{X})$ được xấp xỉ bằng mạng Nơ ron RBF.

$\hat{f}(\mathbf{X})$ - hàm đánh giá của $f(\mathbf{X})$ trên cơ sở mạng Nơ ron.

Tương tự như đối với (1), mô hình song song biểu diễn bằng phương trình không gian trạng thái:

$$\dot{\mathbf{X}}_m(t) = \mathbf{A}_m \mathbf{X}_m(t) + \mathbf{B}_m u(t - \tau_m) + \hat{\mathbf{F}}(\mathbf{X}) \quad (2)$$

Với

$$\mathbf{A}_m = \mathbf{A}; \mathbf{B}_m = \mathbf{B}; \tau_m = \tau; \hat{\mathbf{F}}(\mathbf{X}) = [0 \ 0 \ \cdots \ \hat{f}(\mathbf{X})]'$$

Do hàm phi tuyến $f(\mathbf{X})$ thỏa mãn các điều kiện của định lý Stone – Weierstrass [8], vì vậy sử dụng mạng Nơ ron RBF ta có thể xấp xỉ với độ chính xác bất kỳ:

$$f(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^m w_i^* \phi_i(\mathbf{X}) + \varepsilon^* \quad (3)$$

$$\phi_i(\mathbf{X}) = \frac{\exp\left(-\frac{\|\mathbf{X} - \mathbf{C}_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right)}{\sum_{j=1}^m \exp\left(-\frac{\|\mathbf{X} - \mathbf{C}_j\|^2}{2\sigma_j^2}\right)} \quad (4)$$

Đánh giá của hàm phi tuyến $\hat{f}(\mathbf{X})$ được biểu diễn thông qua các hàm cơ sở và các trọng số hiệu chỉnh \hat{w}_i :

$$\hat{f}(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^m \hat{w}_i \phi_i(\mathbf{X}) \quad (5)$$

Để đánh giá được nhiều đòi hỏi phải xác định luật hiệu chỉnh thích nghi các trọng số mạng Noron trong mô hình đảm bảo $\tilde{w}_i \rightarrow 0$, đồng thời đảm bảo cho hệ thống ổn định.

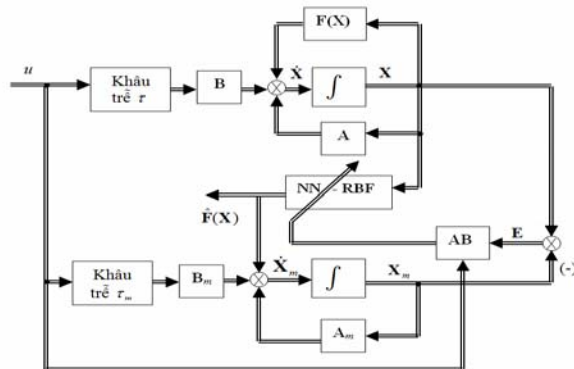
Định lý: Giả sử A là ma trận Hurwitz. Hệ thống sẽ ổn định khi thỏa mãn đồng thời các điều kiện sau đây :

$$-Q + \lambda P U_{\max} < 0;$$

$$\|E(t)\| \geq \frac{2\varepsilon \|\bar{P}_n\|}{r_{\min}(Q)}; \quad (6)$$

$$\dot{w} = \phi_i(\mathbf{X}) \bar{P}_n E(t) \int_{t-\tau}^t u^2(\xi) d\xi.$$

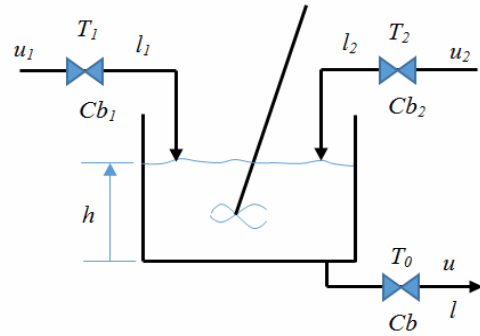
Định lý trên đây thiết lập điều kiện đủ để hệ thống có miền ổn định toàn không gian trạng thái chỉ trừ một vùng lân cận gốc tọa độ với bán kính gần bằng không. Hệ thống ổn định trong trường hợp này được gọi là ổn định thực tế (Practical Stability). Định lý cũng đưa ra quy luật cập nhật các trọng số của mạng Noron RBF xấp xỉ hàm phi tuyến nhiều $f(\mathbf{X})$ và đảm bảo quá trình nhận dạng nhiều hội tụ với độ chính xác bất kỳ nào.



Hình 1 Sơ đồ cấu trúc hệ thống nhận dạng nhiều cho các đối tượng có trễ

Trên Hình 1 là sơ đồ cấu trúc hệ thống nhận dạng nhiều cho các đối tượng có trễ trên cơ sở mô hình song song và mạng Noron. Sơ đồ được xây dựng trên cơ sở phương trình động học của đối tượng (1), phương trình động học của mô hình song song (2). Khối hiệu chỉnh thích nghi AB thực hiện hiệu chỉnh các trọng số \hat{w}_i của mạng Noron RBF theo luật cập nhật trọng số.

3. Xây dựng mô hình toán học của đối tượng CSTR về mô hình không gian trạng thái theo giả thiết (1)



Hình 2. Mô hình bình phản ứng khuấy trộn liên tục CSTR

Giả thiết ta có mô hình bể chứa khuấy trộn liên tục [12] như Hình 2 với h là độ cao của chất lỏng, y là nồng độ của sản phẩm đầu ra của quá trình sản xuất, $u_1(t)$ là tín hiệu điều khiển cho van T_1 của dòng chảy dung dịch với nồng độ C_{b1} (giả thiết độ trễ của van là τ), $u_2(t)$ là tín hiệu điều khiển cho van T_2 của dòng chảy dung dịch với nồng độ C_{b2} (giả thiết $u_2(t) = const$). Phương trình vi phân mô tả đối tượng:

$$\begin{cases} \frac{dh(t)}{dt} = u_1(t) + u_2(t) - 0.2\sqrt{h(t)} \\ \frac{dC_b(t)}{dt} = (C_{b1} - C_b) \frac{u_1(t)}{h(t)} + (C_{b2} - C_b) \frac{u_2(t)}{h(t)} - \frac{k_1 C_b(t)}{(1 + k_2 C_b)^2} \end{cases} \quad (7)$$

Tìm điểm làm việc h_0, y_0 :

$$\begin{cases} \frac{dh(t)}{dt} = 0 \\ \frac{dC_b(t)}{dt} = 0 \\ u_{10} + u_{20} - 0.2\sqrt{h_0} = 0 \\ (C_{b1} - C_{b0})\frac{u_{10}}{h_0} + (C_{b2} - C_{b0})\frac{u_{20}}{h_0} - \frac{k_1 C_{b0}}{(1+k_2 C_{b0})^2} = 0 \end{cases}$$

Giải hệ trên ta được nghiệm h_0, y_0 tổng quát như sau:

$$h_0 = \left(\frac{u_{10} + u_{20}}{0.2} \right)^2 = 5(u_{10} + u_{20})^2$$

$$y_0 \left(\frac{u_{10} + u_{20}}{h_0} \right) + \frac{k_1 y_0}{(1+k_2 y_0)^2} = \frac{C_{b1} u_{10} + C_{b2} u_{20}}{h_0}$$

Với giả thiết van T₁ có tín hiệu điều khiển bị trễ thời gian τ . Khi đó hệ phương trình toán học mô tả động lực học của đối tượng CSTR trong trường hợp này có dạng:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{h}}{dt} = \frac{-0.1}{\sqrt{h_0}} \bar{h}(t) + \bar{u}_1(t-\tau) - 0.025 \frac{\sqrt{h_0} \bar{h}^2}{h_0^2} \\ \frac{d\bar{C}_b}{dt} = - \left(\frac{u_{10}}{h_0^2} (C_{b1} - C_{b0}) + \frac{u_{20}}{h_0^2} (C_{b2} - C_{b0}) \right) \bar{h} + \\ - \left(\frac{2k_1 k_2 C_{b0}}{(1+k_2 C_{b0})^3} + \frac{u_{10}}{h_0} + \frac{u_{20}}{h_0} - \frac{k_1}{(1+k_2 C_{b0})^2} \right) \bar{C}_b + \\ + \frac{(C_{b1} - C_{b0})}{h_0} \bar{u}_1(t-\tau) - \frac{2k_1 k_2 \bar{C}_b^2}{(1+k_2 C_{b0})^2} - (C_{b1} - C_{b0}) \frac{\bar{u}_1}{h_0} \bar{h} + \\ + \frac{(u_{10} + u_{20})}{h_0^2} \bar{C}_b \bar{h} + \frac{\bar{u}_1}{h_0} \bar{C}_b + \frac{k_1 C_{b0}}{(1+k_2 C_{b0})^2} + \\ + \frac{u_{10}}{h_0} (C_{b1} - C_{b0}) + \frac{u_{20}}{h_0} (C_{b2} - C_{b0}) + \dots \end{cases}$$

Hay

$$\begin{cases} \dot{\bar{h}} = a_{11} \bar{h}(t) + \bar{u}_1(t-\tau) + f_1(\bar{h}) \\ \dot{\bar{C}_b} = a_{21} \bar{h}(t) + a_{22} \bar{C}_b(t) + K \bar{u}_1(t-\tau) + f_2(\bar{h}, \bar{C}_b, u_1) \end{cases}$$

Đặt các biến trạng thái:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \bar{h} \\ \bar{C}_b \end{bmatrix}; \quad \dot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \dot{\bar{h}} \\ \dot{\bar{C}_b} \end{bmatrix};$$

Ta hoàn toàn có thể đưa hệ phương trình vi phân này về phương trình không gian các biến trạng thái động học có dạng

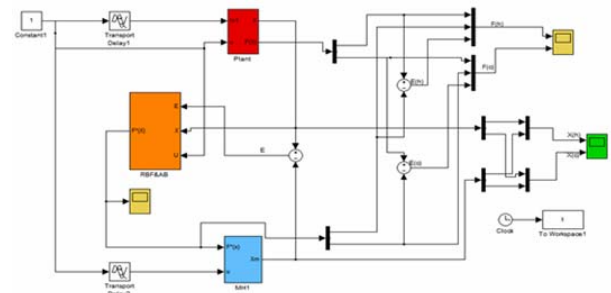
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{-0.1}{\sqrt{h_0}} & 0 \\ \frac{u_{10}}{h_0^2} (C_{b1} - C_{b0}) + \frac{u_{20}}{h_0^2} (C_{b2} - C_{b0}) & - \left(\frac{2k_1 k_2 C_{b0}}{(1+k_2 C_{b0})^3} + \frac{u_{10}}{h_0} + \frac{u_{20}}{h_0} - \frac{k_1}{(1+k_2 C_{b0})^2} \right) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{C_{b1} - C_{b0}}{h_0} \end{bmatrix}$$

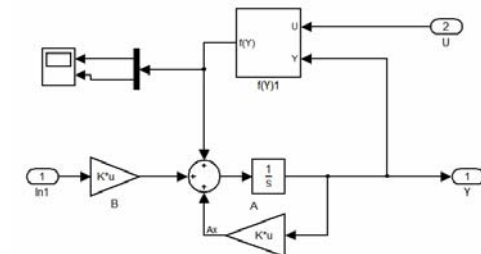
$$\mathbf{F}(\mathbf{X}) = \begin{bmatrix} f_1(\bar{h}) = \frac{0.025 \sqrt{h_0} \bar{h}^2}{h_0^2} + \dots \\ f_2(\bar{h}, \bar{C}_b, u_1) = \frac{(u_{10} + u_{20})}{h_0^2} \bar{C}_b \bar{h} + \frac{\bar{u}_1}{h_0} \bar{C}_b + \frac{k_1 C_{b0}}{(1+k_2 C_{b0})^2} - \frac{2k_1 k_2 \bar{C}_b^2}{(1+k_2 C_{b0})^2} \\ - (C_{b1} - C_{b0}) \frac{\bar{u}_1}{h_0} \bar{h} + \frac{u_{10}}{h_0} (C_{b1} - C_{b0}) + \frac{u_{20}}{h_0} (C_{b2} - C_{b0}) + \dots \end{bmatrix}$$

4. Mô phỏng

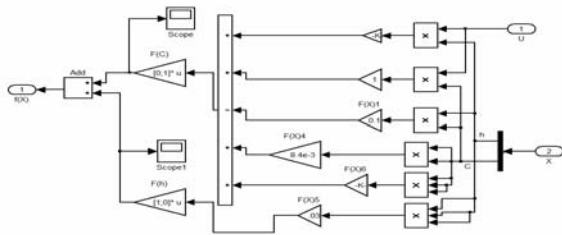
Từ hình 1 ta xây dựng cấu trúc nhận dạng nhiễu trên Malab Simulink như sau :



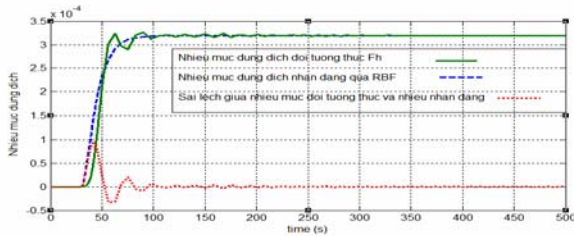
Hình 3 . Cấu trúc nhận dạng nhiễu cho đối tượng CSTR trên cơ sở mô hình song song và mạng Nơron RBF



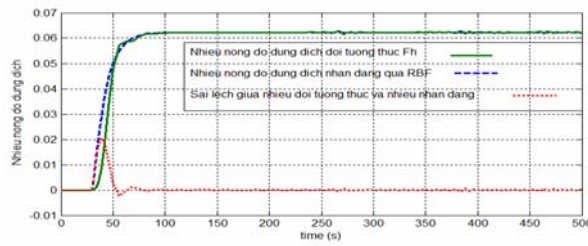
Hình 4. Sơ đồ khối mô tả đối tượng thực



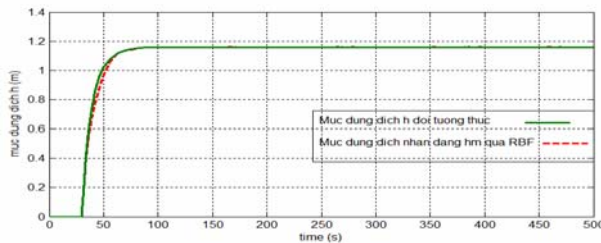
Hình 5. Sơ đồ khối mô tả nhiều F(X)



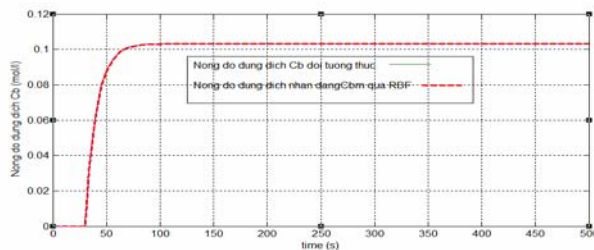
Hình 6. Tín hiệu hàm nhiều $f_1(h)$ của đối tượng thực và sau khi nhận dạng



Hình 7. Tín hiệu hàm nhiều $f_2(h,c,u)$ của đối tượng thực và sau khi nhận dạng



Hình 8. Đáp ứng tín hiệu đầu ra của mức dung dịch



Hình 9. Đáp ứng tín hiệu đầu ra của nồng độ dung dịch

Nhận xét :

Việc áp dụng luật cập nhật trọng số online để nhận dạng nhiều đối tượng bằng mạng Nơron RBF thông qua mô phỏng trên Matlab – Simulink cho thấy được khả năng ưu việt của thuật toán nhận dạng: đáp ứng đầu ra giữa nồng độ C_b của đối tượng thực và đáp ứng nồng độ C_{bm} của mô hình mẫu có độ sai lệch không đáng kể và bám sát tín hiệu đặt mong muốn, sau một khoảng thời gian quá độ sai lệch tĩnh nhỏ và tiến tới bằng 0, hệ làm việc xác lập và ổn định.

5. Kết luận

Mục tiêu chính của bài báo này là áp dụng được lý thuyết của thuật toán nhận dạng nhiều trên cơ sở sử dụng mô hình song song và mạng Nơron RBF với độ chính xác bất kỳ cho đối tượng có trễ và có nhiễu bất định - bình khuấy trộn CSTR. Qua việc mô phỏng hệ thống trên matlab – simulink cho thấy được tính ưu việt của phương pháp đề xuất với cấu trúc đơn giản và thuật toán nhận dạng thu được dưới dạng luật cập nhật trọng số dễ thực hiện trong kỹ thuật đã giúp ta khẳng định được khả năng nhận dạng nhiều một cách chính xác, đảm bảo hệ thống được hội tụ.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Qin S.J and Badgwell T.A. *An overview of industrial model predictive control technology*. In J.C Kantor, C.E. Garcia and B. Carnahan, “Fifth International conference on Chemical Process Control- CPC”, pp. 232 – 256. American Institute of Chemical Engineers, 1996.
- [2]. Cao Tiên Huỳnh. *Tổng hợp hệ điều khiển thích nghi cho các đối tượng có trễ*. Tuyển tập các báo cáo khoa học hội nghị toàn quốc lần thứ 6 về Tự Động Hóa, Hà Nội 2005, trang 288 – 293.
- [3]. Cao Tiên Huỳnh, Lại Khắc Lãi, Lê Thị Huyền Linh. *Một phương pháp nhận dạng nhiều trên cơ sở mạng Nơ ron cho một lớp hệ thống điều khiển dự báo có trễ*, Tạp chí KHCN Thái Nguyên, tập 120, số 06, 2014.
- [4]. Frank Allgower, Rolf Findeisen, Christian Ebenbauer. *Nonlinear Model Predictive Control*, Stuttgart, 2010.
- [5]. Camacho, Bordons. *Model Predictive Control*. Springer Venlag, 2004.
- [6]. Cao Tiên Huỳnh. *Tổng hợp hệ điều khiển trượt, thích nghi cho các đối tượng có trễ*. Tuyển tập các báo cáo khoa học Hội nghị toàn quốc lần thứ 5 về Tự Động Hóa, Hà Nội 2002, trang 181 – 186.
- [7]. Giang Tao. *Adaptive Control Design and Analysis*. A John Wiley & Son, Inc. , publication. 2003.
- [8]. Neil E. Cotter. *The Stone – Weierstrass Theorem and Application to Neural Networks*. Vol. 1, No. 4, 1990, pp 290 – 295.
- [9]. Jagannathan, S.; Lewis, F.L. *Identification of Nonlinear Differential Systems using Multilayered Neural Networks – Automatica*, No 32, 1996, pp 1707 – 1712.
- [10]. Narendra, K.S.; Parthasarathy, K. *Identification and control for differential Systems using neural networks*. – Trans. On Neural Networks, No 1, 1990, pp 4 – 27.
- [11]. Yu, W.; Li, X. *Some new results on system Identification with differential Neural Networks*. – Trans. Neural Networks, No 12, 2001, pp 412 – 417.
- [12]. Piyush Shrivastava, *Modeling and Control of CSTR using Model based Neural Network Predictive Control*, Takshshila Institute of Engineering & Technology, Jabalpur, Madhya Pradesh, India