

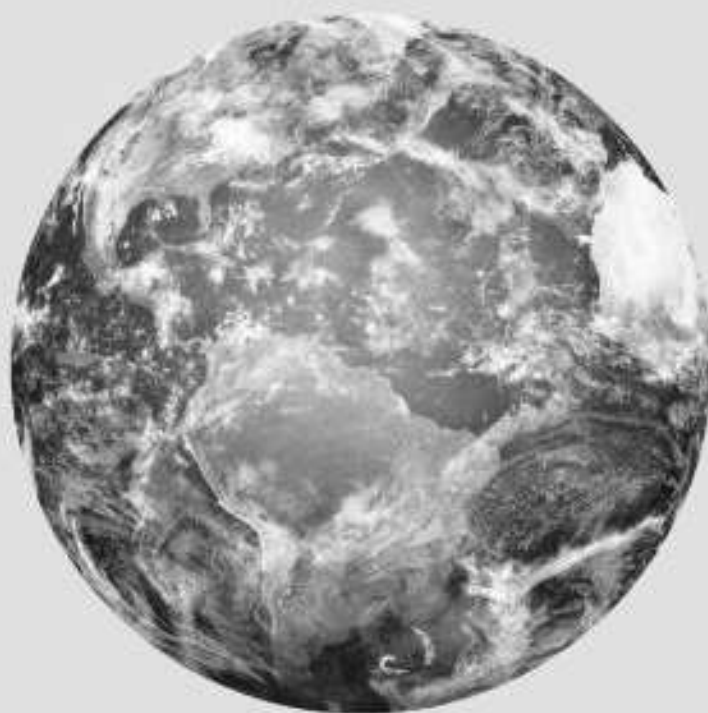
ERSD 2018

KỶ YẾU

**HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC
KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN
VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

Hà Nội, 07 - 12 - 2018

CƠ ĐIỆN



Nhà xuất bản giao thông vận tải

Nghiên cứu nâng cao chất lượng hệ thống tự động điều chỉnh có kết hợp thuật toán tác động nhanh, bộ điều khiển PID và mô-đun điều chỉnh tự động dành cho đối tượng điều khiển nhiệt

Nguyễn Chí Tình^{1,*}, Kuzishchin Viktor Fedorovich²,

Merzlikina Elena Igorevna³, Hoàng Văn Va⁴, Võ Thị Cẩm Thùy⁵

^{1,*} Bộ môn Tự động hóa xí nghiệp Mỏ và Dầu khí, Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội, Việt Nam

^{2,3,4} Bộ môn Hệ thống tự động điều khiển các quá trình nhiệt, Viện Năng lượng Nhiệt và Hạt nhân,

Trường Đại học Năng lượng Moscow, Liên Bang Nga

⁵ Bộ môn Đo lường và Điều khiển, Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT

Trong bài báo này sẽ được xem xét hệ thống tự động điều chỉnh lai, hệ thống mà kết hợp với thuật toán tác động nhanh nhất, thuật toán PID và mô-đun điều chỉnh tự động. Đã đưa ra những khó khăn, những vấn đề sẽ gặp phải khi mà thực hiện hệ thống này trong thực tế (như là cần thiết sự tồn tại và chu kỳ làm mới mô hình của đối tượng, có thể sẽ có đặc tính tự dao động của quá trình quá độ, sự tồn tại thời gian trễ trong đối tượng điều khiển v.v.). Tiếp theo đã đưa ra những cách khắc phục những khó khăn này, đưa ra được công thức cho việc xác định tham số dự đoán và thực hiện phân tích tính hiệu quả của hệ thống này giành cho đối tượng nhiệt, đồng thời so sánh chất lượng hệ thống này với phương pháp điều khiển truyền thống.

Từ khóa: Hệ thống tự động điều chỉnh, thuật toán tác động nhanh nhất, nguyên tắc cực đại Pontryagin, bộ điều khiển PID, đường chuyển đổi, mô-đun điều chỉnh tự động, dự báo, bộ gia nhiệt.

1. Đặt vấn đề

Nâng cao chất lượng làm việc của Hệ thống tự động điều chỉnh (HTĐ) là nhiệm vụ cấp bách. Có một số cách để giải quyết vấn đề này, một trong số đó là việc áp dụng thuật toán tác động nhanh nhất (TĐN), thuật toán được giới thiệu cụ thể trong tài liệu [Потап, 2007; Аракелян và Пикина, 2003]. Thuật toán này hiện nay đang được áp dụng trong nhiều lĩnh vực khoa học và kỹ thuật khác nhau và được một số tác giả trên thế giới nghiên cứu và công bố trong tài liệu [Аракелян và Пикина, 2003; Hans, 2007; Kevin, 2013; Dilmurat, 2018], nhưng trong thực tế việc triển khai HTĐ với thuật toán TĐN thì người thực hiện phải đối mặt với một số khó khăn. Đặc biệt những khó khăn này khi áp dụng thực tế thuật toán này cho đối tượng điều khiển nhiệt, đối tượng mà có thời gian trễ. Những khó khăn này, cũng như những cách có thể giải quyết những vấn đề nêu trên sẽ được xem xét trong bài báo này.

Khi HTĐ làm việc với thuật toán TĐN, cần thực hiện tính toán đường chuyển đổi của tác động điều khiển, mà điều này thì đòi hỏi phải có mô hình của đối tượng điều khiển. Mô hình cần được nhận biết đủ chính xác và làm mới theo định kỳ, điều này được đề xuất để đưa vào HTĐ mô-đun điều chỉnh tự động của bộ điều chỉnh (ANR) [Kuzishchin và Tsarev, 2014], mô-đun mà dùng để xác định các tham số của mô hình đối tượng đã cho.

Đặc trưng của các đối tượng nhiệt là sự tồn tại của thời gian trễ. Để thuật toán TĐN hoạt động chính xác thì trong những trường hợp này cần sử dụng khối dự báo, hiệu quả sử dụng của khối dự báo này cần phải được đánh giá và theo khả năng có thể đạt được kết quả tốt hơn.

Đồng thời cũng do ảnh hưởng của thời gian vòng quét biến điều chỉnh của bộ điều khiển, các cảm biến đo lường, sự không chính xác của mô hình đối tượng điều khiển và những nhân tố khác trong hệ thống thực với thuật toán TĐN, chính vì thế mà quá trình điều chỉnh cuối cùng sẽ có thể xuất hiện sự tự dao động, điều này thường là không mong muốn cho hệ thống điều chỉnh.

Trong bài báo này sẽ được xem xét những phương pháp loại bỏ những khó khăn này thông qua việc sử dụng HTĐ có cấu trúc lai, và sẽ được nghiên cứu sự hiệu quả của HTĐ này, được thực hiện trên ngôn ngữ C++ nhờ chương trình Borland C++ và đã phát triển thực hiện trên bộ điều khiển PLC của OWEN.

* Tác giả liên hệ

Email: tinhtdh2004@gmail.com

2. Giải quyết vấn đề

Trong bài báo này sẽ được xem xét việc áp dụng thuật toán TĐN cho các hệ thống điều khiển nhiệt độ cho bộ gia nhiệt bằng điện để điều khiển công suất của bộ gia nhiệt, nhờ sử dụng bộ điều biến độ rộng xung (PWM). Trong các hệ thống này, thường thực hiện các thay đổi đầu vào, hơn nữa sẽ yêu cầu thời gian tối thiểu của quá trình quá độ kết hợp với lượng quá điều chỉnh tối thiểu nhất. Tín hiệu điều khiển được giới hạn, tức là trong trường hợp này các mức công suất của bộ gia nhiệt được giới hạn tương đối so với trạng thái cân bằng của thiết bị.

Trong trường hợp này, bộ truyền động (PWM) có thể được xem như một khâu kết tỷ lệ, được đưa vào bao hàm trong đối tượng điều khiển. Để nhanh chóng có được và cập nhật mô hình của đối tượng, khối ANR được đưa vào HTĐ, bộ mà sẽ hoạt động theo một trong các thuật toán điều chỉnh tự động nhanh của các bộ điều chỉnh [Kuzishchin và Tsarev, 2014 ; Kuzishchin, Merzlikina và Van Va Hoang, 2017], được mô tả bên dưới.

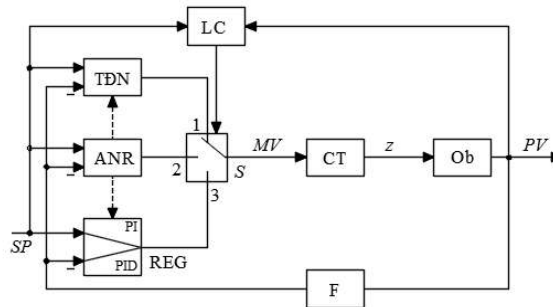
Để loại bỏ khả năng tự dao động sẽ được áp dụng HTĐ có cấu trúc lai, cũng được mô tả bên dưới, để hoạt động của HTĐ này với các đối tượng với trễ, thì một bộ dự báo được đưa vào trong cấu trúc của hệ thống.

Cần đánh giá khả năng hoạt động và hiệu quả của hệ thống được đề xuất, cũng như để so sánh chất lượng của các quá trình quá độ với chất lượng hoạt động của HTĐ điển hình thường với bộ điều khiển PID. Ngoài ra, cần phải xác định khi nào việc áp dụng hệ thống như vậy là có hiệu quả, và cũng để đánh giá sự phù hợp của việc áp dụng hoặc ngăn cấm sự đảo chiều của tác động điều chỉnh trong hoạt động của thuật toán TĐN. Đối với khối dự báo, cần thực hiện các khuyến nghị về lựa chọn hệ số dự báo (k_{pr}) và đưa ra sự phụ thuộc của nó vào các tính chất của đối tượng điều khiển.

3. Cấu trúc và nguyên tắc hoạt động của HTĐ lai

Để áp dụng thực tế sẽ được đề xuất HTĐ, sơ đồ HTĐ được trình bày trong hình 1.

Ở đây: TĐN - thuật toán tác động nhanh nhất, ANR - điều chỉnh tự động của bộ điều khiển, REG – Bộ điều khiển, PI – bộ điều khiển PI, PID – bộ điều khiển PID, LC – cơ cấu logic, CT – cơ cấu truyền động, Ob – đối tượng điều khiển, S – bộ chuyển đổi, SP – đầu vào, MV – tác động điều chỉnh, PV – biến điều chỉnh, z – đầu ra của cơ cấu truyền động, F – bộ lọc.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống lai điều chỉnh

HTĐ này sẽ được xem xét cho trường hợp điều khiển công suất của bộ gia nhiệt bằng phương pháp PWM, vì vậy khi chuyển đổi của tác động điều khiển (tức là công suất gia nhiệt) trong quá trình làm việc của TĐN, nó ngay lập tức sẽ nhận giá trị mới, còn những giới hạn mà bắt buộc áp đặt cho tín hiệu điều khiển trong trường hợp này được thể hiện ở mức công suất của phân tử gia nhiệt đối với trạng thái cân bằng của nó.

Sẽ được xem xét trường hợp, khi mà tác động điều chỉnh MV là một biến tương tự, các giá trị giới hạn trên và dưới (P_{MAX} và P_{MIN}). Cơ cấu truyền động (CT) sẽ được xem là một khâu kết tỷ lệ mà bao hàm trong thành phần của đối tượng điều khiển. Tiếp theo, hoạt động của HTĐ sẽ được xem xét khi hoạt động đầu vào thay đổi.

Những chức năng mà được thực hiện bởi các khối riêng lẻ trong HTĐ lai sẽ được phân bố như sau. Nhiệm vụ chính của sự điều chỉnh (ổn định biến điều chỉnh PV khi tác động của nhiễu) tại một giá trị không đổi của đầu vào SP sẽ được thực hiện bởi khối REG với sự trợ giúp của hoạt động điều chỉnh MV = y_{reg} (bộ chuyển đổi S lúc này ở vị trí số 3).

Nếu như hoạt động đầu vào được việc thay đổi từ vị trí SP1 sang vị trí SP2, với $|\Delta SP| = |SP2 - SP1| > \sigma_{cp}$, trong đó σ_{cp} là ngưỡng hoạt động của thuật toán TĐN, lúc này sẽ thay thế khối REG bằng khối TĐN (bộ chuyển đổi S chuyển sang vị trí số 1) được đưa vào hoạt động, nhiệm vụ mà được thực hiện chuyển

đổi tối ưu từ vị trí ban đầu của đầu vào $SP1$ sang vị trí mới $SP2$ dựa trên nguyên lý cực đại của Pontryagin [2]. Khi mà trong quá trình này biến PV sẽ tiếp cận dần đến vị trí đầu vào mới và sẽ bắt đầu thực hiện điều kiện $|\varepsilon| < \sigma_{ot}$ (trong đó $\varepsilon = SP - PV$ gọi là giá trị sai lệch điều chỉnh, σ_{ot} là ngưỡng ngắt sự hoạt động TĐN), điều khiển của tác động điều chỉnh sẽ được quay trở lại khối REG. Chuyển từ khối TĐN sang khối REG và ngược lại sẽ thực hiện tự động nhờ khối logic LC.

Như thể hiện trong hình 1, khi hoạt động đầu vào được thay đổi, thuật toán điều chỉnh PI sẽ hoạt động, vì phân của tín hiệu theo đầu vào không được thực hiện (tức là tín hiệu đầu vào chỉ đi qua khối P và I trong bộ điều chỉnh PID). Điều này được thực hiện để ngăn chặn tín hiệu đầu ra của bộ điều chỉnh (μ) không bị vượt lố (nhảy vọt) trong khi đầu vào bị thay đổi.

Khối ANR [Kuzishchin và Tsarev, 2014] sẽ được đưa vào hoạt động nhờ thao tác trực tiếp của người điều chỉnh theo định kỳ (bộ chuyển đổi S sẽ ở vị trí số 2) trong bước điều chỉnh HTĐ và trong quá trình hoạt động của hệ thống (nếu cần). Khối này sẽ phục vụ để tính giá trị của các thông số của bộ điều chỉnh và các tham số của mô hình đối tượng cần thiết cho hoạt động của TĐN.

Để giảm sự ảnh hưởng của tín hiệu nhiễu tần số đến biến điều chỉnh trong bộ điều khiển đã được cấp cho đầu vào của thuật toán điều chỉnh thông qua bộ lọc đầu vào (F) với hàm truyền đạt có dạng:

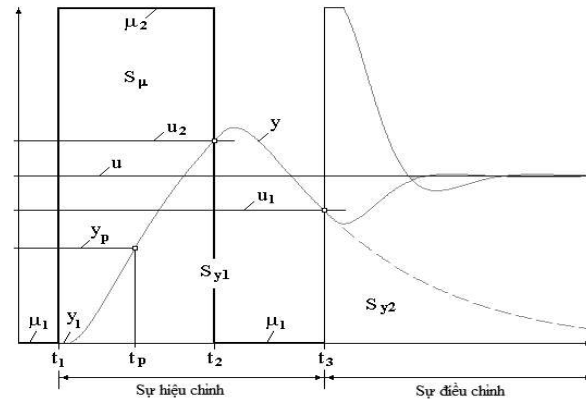
$$W_{inf}(s) = \frac{1}{(T_{inf} \cdot s + 1)} \quad (1)$$

ở đây T_{inf} – thời gian cố định của bộ lọc đầu vào. Trong trường hợp này $T_{inf} = 2$ s. Có tính toán đến bộ lọc đầu vào, lúc này hàm truyền đạt của đối tượng làm việc có dạng bậc ba.

4. Mô tả sự làm việc của khối ANR

Như đã trình bày ở trên, trong thành phần của HTĐ đã cho bao gồm khối ANR, nhiệm vụ của khối này là làm mới mô hình đối tượng theo chu kỳ và phù hợp với điều đó thì sẽ tính toán lại tham số của thuật toán điều chỉnh. Trong trường hợp này sẽ ứng dụng thuật toán hiệu chỉnh tự động nhanh gọi là ANR-1, thuật toán này được mô tả cụ thể trong tài liệu [Kuzishchin và Tsarev, 2014].

Chúng ta sẽ xem xét cụ thể hơn thuật hiệu chỉnh tự động này, thuật toán mà làm việc căn cứ vào đáp ứng của đối tượng điều khiển trên dạng xung hình chữ nhật. Khi xác định các tham số của mô hình toán học của đối tượng và tính toán các thông số của bộ điều chỉnh, bộ chuyển đổi S được hiển thị trong hình. 1, sẽ được ở vị trí số 2 (tức là, bộ điều chỉnh P được tắt và mô-đun ANR sẽ hoạt động). Trong mô-đun ANR được đưa vào thành phần role, trong Hình. 2 đã cho thấy ngưỡng chuyển đổi trên và dưới của nó (u_1 và u_2). Trước khi bắt đầu hoạt động của ANR-1, hệ thống phải ở trạng thái ổn định, có thể được coi là một nhược điểm của phương pháp này. Tại thời điểm bật ANR-1, tác động điều chỉnh sẽ được chuyển từ μ_1 sang μ_2 và sẽ được chuyển trở lại khi giá trị đầu ra đạt ngưỡng chuyển đổi trên. Đã nhận được các đồ thị của quá trình quá độ khi ANR-1 hoạt động và được thể hiện trong hình 2.



Hình 2. Những đồ thị của các quá trình khi hiệu chỉnh tự động theo thuật toán ANR-1

Trong đó: u – tín hiệu đầu vào; y – đại lượng được điều chỉnh; u_1 và u_2 – những ngưỡng chuyển đổi trên và dưới; μ_1 – mức dưới; μ_2 – mức trên; S_μ – diện tích dưới đồ thị u ; S_{y1} – diện tích dưới đồ thị $y(t)$ trong đoạn thời gian $[t_1; t_3]$; S_{y2} – diện tích dưới đồ thị $y(t)$ trong đoạn thời gian $[t_3; \infty)$; (y_p, t_p) – tọa độ của điểm uốn.

Tiếp theo, thông qua dữ liệu đã nhận được (diện tích S_{y1} và S_{y2} , tọa độ của điểm uốn v.v.), nhờ sự trợ giúp của thuật toán ANR-1 [Kuzishchin và Tsarev, 2014] sẽ được tính toán tham số của mô hình đối tượng, hàm truyền đạt của mô hình có dạng:

$$W_{ob}(p) = \frac{K_{ob} \cdot \exp(-p \cdot \tau)}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)} = \frac{K_{ob} \cdot \exp(-p \cdot \beta \cdot T_1)}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (n \cdot T_1 \cdot p + 1)} \quad (2)$$

ở đây: K_{ob} – hệ số truyền đạt, T_1, T_2 – những hằng số thời gian, τ – thời gian trễ của mô hình đối tượng, các hệ số $n = T_2/T_1$ và $\beta = \tau/T_1$.

Sau khi có được tham số của mô hình đối tượng, ANR-1 tiếp tục thực hiện tính toán tham số tối ưu hiệu chỉnh của bộ điều chỉnh PID, hàm truyền đạt của bộ điều chỉnh này được mô tả như sau:

$$W_r(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot p} + T_d \cdot p \cdot \frac{1}{(T_f \cdot p + 1)^2}\right), \quad (3)$$

ở đây: K_p – hệ số truyền đạt; T_i – hằng số thời gian tích phân; T_d – hằng số thời gian vi phân; $T_f = T_d/K_f$; sẽ được lựa chọn $K_f = 8$. Dạng bộ điều chỉnh PID này được sử dụng rộng rãi trong chuỗi bộ điều khiển công nghiệp, ví dụ như trong bộ điều khiển Remikont của viện nghiên cứu NIITEplopribor, Kontrast của Công ty Volmag, PLC của OWEN.v.v.

Các tham số tối ưu của thuật toán PID được tính toán giới hạn về tần số của dao động $M = 1.4$, phương pháp được mô tả trong [Потап, 2007], phép tính được sử dụng điều kiện tối ưu gián tiếp, dưới dạng các yêu cầu cho đặc tính tần số toàn phần của hệ thống điều chỉnh khép kín trong vùng lân cận của tần số cộng hưởng; như vậy sẽ nhận được rằng biên độ tại một điểm cho trước là 1.4, và giá trị pha là -90° .

Đây là phương pháp cho phép xác định 4 tham số của mô hình đối tượng (2) không phụ thuộc lẫn nhau và hoạt động tốt khi sử dụng trong HTĐ với bộ truyền động, cái mà được điều khiển bởi tín hiệu tương tự, tuy nhiên phương pháp này đòi hỏi những điều kiện ứng dụng cụ thể, điều kiện này được mô tả trong tài liệu [Kuzishchin và Tsarev, 2014; Kuzishchin, Merzlikina và Van Va Hoang, 2017].

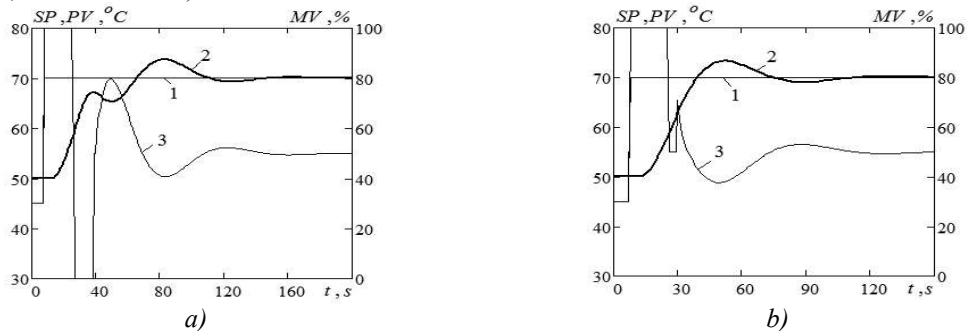
Sau này những tính toán sẽ được thực hiện giành cho đối tượng dạng (2) với các tham số: $K_{ob} = 1^\circ\text{C}/\% \text{US}$ (unified signal); $T_1 = 16 \text{ s}$; $T_2 = 32 \text{ s}$; $\tau = 6 \text{ s}$. Tham số của mô hình đối tượng mà nhận được nhờ sự trợ giúp của thuật toán ANR-1: $K_{mob} = 0.99^\circ\text{C}/\% \text{US}$; $T_{1m} = 16.54 \text{ s}$; $T_{2m} = 31.3 \text{ s}$; $\tau_m = 5.8 \text{ s}$; những tham số hiệu chỉnh của bộ điều khiển PID với bộ lọc bậc hai khi D được đưa vào (xem công thức (2)): $K_p = 4.26 \text{ \%US}/^\circ\text{C}$; $T_i = 26.6 \text{ s}$; $T_d = 9.2 \text{ s}$.

5. Loại bỏ tự dao động trong HTĐ với thuật toán TĐN

Trong thực tế mô hình của đối tượng được biết không hoàn toàn chính xác. Ngoài ra khoảng thời gian của vòng quét biến điều chỉnh có thể đạt đến 0.5 giây (s) và có thể lớn hơn nữa. Để loại bỏ những xung động có thể của tín hiệu ở đầu ra của bộ đo, thì tín hiệu này thường được cho qua bộ lọc làm phẳng (khối F trong hình 1). Những nhân tố đã chỉ ra có thể là những nguyên nhân bắt đầu xuất hiện tự dao động trong HTĐ với thuật toán TĐN. Ngoài ra sự xuất hiện tự dao động là khả năng giảm vùng không nhạy cảm của role, trên cơ sở mà thực hiện thuật toán TĐN và sự không chính xác của sự dự báo.

Như vậy, khi làm việc với thuật toán TĐN, cần phải hạn chế số lần chuyển đổi và thực hiện các biện pháp để ngăn chặn sự xuất hiện của các tự dao động. Để thực hiện điều này trong hệ thống đã cho, khi biến điều chỉnh tiếp cận giá trị đầu vào đã đặt, sẽ thực hiện chuyển sang sự điều chỉnh bằng PID. Trong trường hợp này, có hai phương án có thể hoạt động của thuật toán TĐN: hoặc là làm việc với sự cho phép đảo chiều của tác động điều chỉnh (theo định lý Feldbaum, xem trong tài liệu [Потап, 2007; Аракелян và Пикина, 2003]), hoặc là với việc cấm đảo chiều (phương án được đưa ra trong bài báo này). Khi cấm sự đảo chiều sẽ thực hiện chỉ có một lần chuyển đổi của hoạt động điều chỉnh trong khuôn khổ hoạt động của thuật toán TĐN, sau đó, khi giá trị điều chỉnh tiếp cận giá trị đầu vào, hệ thống sẽ chuyển sang điều chỉnh PID. Ví dụ các quá trình quá độ trong HTĐ đã được xem xét khi được thay đổi đầu vào tới 20°C , kết quả được thể hiện trong hình 3.

trong đó: 1- tín hiệu đầu vào (SP), 2- đại lượng đầu ra của HTĐ (PV), 3- tác động điều chỉnh (tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển MV).



Hình 3. Quá trình quá độ trong HTĐ lại với sự cho phép đảo chiều (a) và với sự cấm đảo chiều (b)

Sự chuyển sang điều chỉnh bằng PID sẽ được thực hiện nếu như sai lệch điều chỉnh đi vào trong vùng cho phép (vùng không cảm nhận của role) hoặc là tốc độ thay đổi biến đầu ra PV đã đạt đến giá trị cho phép ($0.2 \cdot |V_{pv_max}|$), ở đây $V_{pv} \approx dPV/dt$.

Như chúng ta thấy từ hình. 3 thì đồ thị quá trình quá độ, với việc cấm đảo chiều trở nên ít dao động hơn, thấy rõ thời gian của quá trình quá độ giảm đáng kể (từ 103 giây trong hệ thống với ngược 69 giây trong hệ thống mà không đảo chiều) và độ lệch động của giá trị đầu ra giảm phần nào (từ 3.7 °C trong hệ thống đảo chiều giảm xuống đến 3.3 °C trong một hệ thống không có đảo chiều), cho thấy sự hữu ích của phương pháp này.

6. Lựa chọn hệ số dự báo k_{pr}

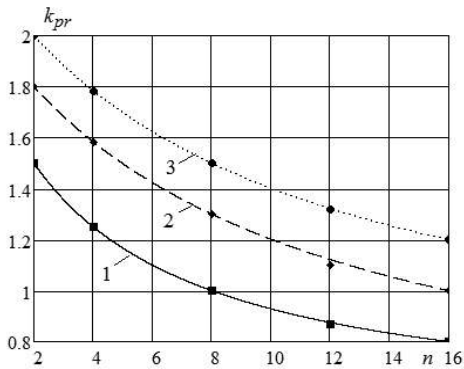
Nếu như HTĐ với thuật toán TĐN sẽ làm việc với đối tượng có thời gian trễ, thì trong thành phần của hệ thống cần đưa vào khối dự đoán, như một quy tắc, một thuật toán dự đoán tuyến tính được sử dụng. Trong hoạt động của TĐN, một đường chuyển đổi được tính toán bằng cách sử dụng biến trạng thái theo dạng tiêu chuẩn $\{x_{1k}, x_{2k}\}$, được xác định thông qua các biến trạng thái ở dạng bình thường $\{x_1, x_2\}$, những biến này được tính toán thông qua các biến PV và SP bằng cách sử dụng các công thức sau:

$$\begin{aligned} x_1 &= PVF - SP + (\tau \cdot V_{PV}) \cdot k_{pr}; \\ x_2 &= V_{PV}, \end{aligned} \quad (4)$$

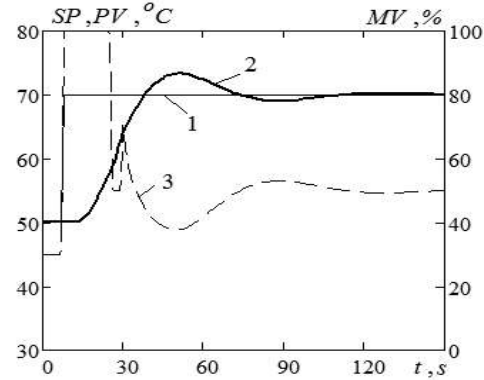
ở đây k_{pr} - hệ số dự đoán, hệ số này được điều chỉnh khi hệ thống được xác lập, PVF – biến PV , biến mà được truyền qua bộ lọc F (xem hình 1), V_{PV} – tốc độ thay đổi của biến PVF .

Giá trị của hệ số dự đoán k_{pr} phụ thuộc vào các thuộc tính của đối tượng và sau này sẽ được đề xuất thích hợp để có được các mối liên hệ tính toán tự động của hệ số này theo các tham số của mô hình đối tượng mà thu được từ ANR.

Dựa trên mô phỏng của hệ thống đang được xem xét với một số đối tượng của biểu mẫu (1), phương pháp tìm kiếm đã tìm thấy các giá trị tối ưu của hệ số dự báo. Mô hình được thực hiện cho các đối tượng có các tham số sau: $K_{ob} = 1 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{ US}$; $T_1 = 16 \text{ s}$; $n = T_2 / T_1 = [2; 4; 8; 12; 16]$ và $\beta = \tau / T_1 = [0.2; 0.4; 0.8]$. Các đồ thị của sự phụ thuộc thu được được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Đồ thị phụ thuộc giá trị k_{pr} từ những tham số của mô hình đối tượng n và β ; 1 – $\beta=0.2$; 2 – $\beta=0.4$; 3 – $\beta=0.8$.



Hình 5. Những quá trình quá độ trong HTĐ với thuật toán TĐN và bộ điều khiển PID khi $k_{pr}=1,86$

Sự phụ thuộc thu được bằng cách thực hiện xấp xỉ công thức gần đúng cho việc lựa chọn k_{pr}

$$k_{pr} = A \cdot (1 - D) + B \cdot D, \quad (5)$$

Ở đây, $A = 0.5 + 6/(n+4)$; $B = 0.55 + 16.66/(n+9.45)$; $C = 2.01 - 0.2/(\beta+0.06)$; $D = 1.88 \cdot C - 2.2$.

Phù hợp với (5) được sử dụng trong mô hình HTĐ với thuật toán TĐN và bộ điều khiển PID trong công việc này. Đối với đối tượng đang được xem xét, $k_{pr} = 1.86$, quá trình quá độ cho trường hợp xem xét trong HTĐ này được thể hiện trong hình. 5.

trong đó: 1- tín hiệu đầu vào (SP), 2- đại lượng đầu ra của HTĐ (PV), 3- tác động điều chỉnh (tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển MV).

Trong Bảng 1 để so sánh, các chỉ số về chất lượng của các quá trình quá độ với sự thay đổi hệ số dự báo đã được trình bày ở trên.

Bảng 1. Các thông số về chất lượng của HTĐ với TĐN và bộ điều khiển PID khi thay đổi k_{pr}

HTĐ	Thời gian điều chỉnh (t_{per} , s)	Sự quá điều chỉnh (σ)
$k_{pr} = 1.5$	95	3.3
$k_{pr} = 1.86$	68	3.3
$k_{pr} = 2.5$	75	4.3

Như đã thấy từ bảng trên, khi thay đổi hệ số dự đoán thì chất lượng của quá trình quá độ sẽ thay đổi. Với sự trợ giúp của công thức tính toán tham số dự đoán thì nhận được chất lượng điều chỉnh tốt nhất giành cho đối tượng đã xem xét.

7. Kết luận

Theo kết quả của nghiên cứu đã cho thấy tính hiệu quả của hệ thống lai này, khi được sử dụng thay đổi đầu vào nhờ mô-đun TĐN với chuyển đổi cuối cùng sang sự điều chỉnh bằng PID, thu được sự phụ thuộc tính toán cho tham số dự báo để tăng hiệu quả của mô-đun dự đoán, và cũng cho thấy rằng để loại bỏ tự dao động thì nên chuyển từ TĐN sang thuật toán PID khi đạt được điều kiện nhất định. Bên cạnh đó, đã chỉ ra rằng hữu ích của sự loại bỏ dao chiều của tác động điều chỉnh để tăng chất lượng điều chỉnh.

Đã thành công tạo ra chương trình tổng hợp từ xác định tham số của đối tượng, tham số điều chỉnh PID và tăng chất lượng điều chỉnh cho HTĐ lai. Các kết quả thu được có thể được sử dụng trong phần mềm của các bộ điều khiển để cải thiện hệ thống tự động điều chỉnh cho các quá trình nhiệt.

Kết quả ANR đã được Công ty OWEN tại Liên Bang Nga tiếp nhận và đã tạo ra thư viện PID_reg2, thư viện này có thể được làm quen tại trang www.owen.ru. Ngoài ra kết quả của TĐN đã được nhận và sẽ tạo ra thư viện cho bộ điều khiển PLC của OWEN.

Tài liệu tham khảo

Аракелян Э.К., Пикина Г.А., 2003. *Оптимизация и оптимальное управление*. М.: Издательство МЭИ.

Dilmurat M. Azimov, 2018. *Analytical solutions for extremal Space trajectories*. Butterworth-Heinemann. 330 pp.

Hans P. Geering, 2007. *Optimal control with engineering applications*. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 131 pp.

Kevin W. Cassel, 2013. *Variational methods with applications in science and engineering*. Cambridge University Press 32 Avenue of the Americas, New York, NY 10013-2473, USA. 409 pp.

Ротач В.Я., 2007. *Теория автоматического управления*. Учебник для вузов. М.: Изд. дом МЭИ.

V. F. Kuzishchin and V. S. Tsarev, 2014. *Algorithms for accelerated automatic tuning of controllers with estimating the plant model from the plant response to an impulse disturbance and under self-oscillation conditions*. © Springer, Volume 61, Issue 4, pp 281–290.

V. F. Kuzishchin, E. I. Merzlikina, Van Va Hoang, 2017. *PID-controller with predictor and auto-tuning algorithm: Study of efficiency for thermal plants*. © Springer, Volume 64, Issue 9, pp 694–702.

ABSTRACT

Study of equality of the automatic control system is integrated with the maximal rapid response algorithm, PID-controller and an autotuning modul for thermal control plants

Nguyen Chi Tinh ¹, Kuzishchin Viktor Fedorovich ²,
Merzlikina Elena Igorevna ³, Hoang Van Va ⁴, Vo Thi Cam Thuy ⁵

¹ Hanoi University of Mining and Geology

^{2,3,4} National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

⁵ Hanoi University of Industry

This paper considers a hybrid control system with the maximal rapid response algorithm, PID-algorithm and an autotuning module; some difficulties connected with the practical implementation of the system are described. The difficulties are the transport delay in the control plant, the possible self-oscillatory transient process, the plant model that must be accurate enough and periodically renewed. The ways how to overcome these difficulties are offered and the system efficiency for thermal plants is analyzed.

Keywords: automatic control systems, maximal rapid response algorithm, Pontryagin maximum principle, PID-controller, switching curve, autotuning, prediction, electric heater.