

prof. dr hab. inż. Wiktor Taranenko
 dr inż. Jarosław Zubrzycki
 Politechnika Lubelska, Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych
 prof. dr hab. inż. Aleksander Abakumow
 Samarski Państwowy Uniwersytet Techniczny, Rosja
 doc. dr inż. Georgij Taranenko
 Sewastopolski Narodowy Uniwersytet Techniczny

OBSZARY OSIĄGALNEJ JAKOŚCI STEROWANIA PROCESEM TOCZENIA WZDŁUŻNEGO

W referacie przedstawiono badanie obszarów osiągalnej jakości sterowania procesem toczenia wzdłużnego. Jako wskaźnik charakteryzujący jakość pracy układu stabilizacji automatycznej siły skrawania na tokarkach celowe jest przyjęcie maksymalnej wartości przeregulowania współrzędnej sterowanej. Przeregulowanie siły skrawania wywołuje przeciążenie układu technologicznego obrabiarki i wymusza zmniejszanie wartości stabilizowanej siły skrawania. Powoduje to zmniejszenie intensywności procesu technologicznego oraz obniżenie wydajności procesu obróbki. Przy analizie pracy układu zakłada się, że jednocześnie z oddziaływaniami wymuszającymi, na układ działają oddziaływania sterujące U . Oddziaływanie sterujące okazuje się być funkcją przekątnikową czasu przy obecności jednoczesnego ograniczenia, nakładanego na jego moduł. Ponadto można wykazać, że przy $0 < t < t_m$ nie występuje przełączenie oddziaływania sterującego. Przedstawiono także badania wpływu strefy nieczułości δ urządzenia przełączającego oddziaływania sterujące na wskaźniki jakości procesu obróbki toczeniem. W układzie rzeczywistym urządzenie przekątnikowe przełączające oddziaływania sterujące ma strefy nieczułości δ . Obecność strefy nieczułości może być uwzględniona jako dodatkowe opóźnienie. Ciekawa jest ocena wpływu wielkości δ na przyjęty współczynnik jakości, gdy przełączenie sterowania osiąga się w funkcji odchylenia współrzędnej wyjściowej x . Wykazanie obszarów osiągalnej jakości sterowania pozwala w sposób uzasadniony rozwiązywać zadania syntezy i analizy układów sterowania procesami toczenia.

THE AREAS OF THE ATTAINABLE QUALITY OF CONTROLLING THE PROCESS OF LENGTHWISE TURNING

In the paper was introduced the investigation of the areas of the attainable quality of controlling the process of longitudinal turning. As the coefficient characterizes the quality the work of automatic stabilisation system of cutting off force on lathes is to purposeful accept the maximum value of the dynamic breakout regulated co-ordinate. The dynamic breakouts the cutting off force generate the overload of the technological system of machine tool and they extort the reducing the stabilise value of cutting off force. It causes decreasing the intensity of the technological process and the lowering the efficiency of the machining process. By the analysis of the work of the system to postulate, that simultaneously with force reactions on the system acting controlling reactions U . The controlling reaction seems to be the relay function of the time near the presence of the simultaneous limitation, sewn on his module. Upon what one can show, that by

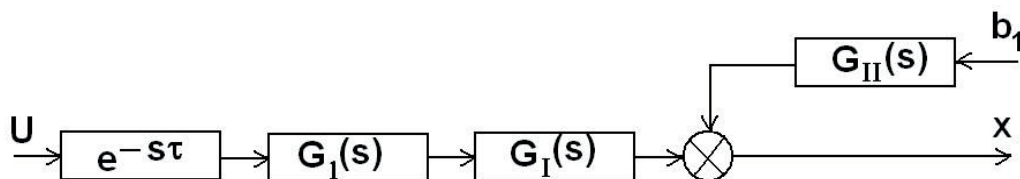
0 < t < t_m does not step out switching the reaction influence. Were also introduced the investigations of the influence of the zone of insensitivity δ the switching device the controlling influence on the coefficients of the quality of the turning process. In the real system the relay device switching controlling influences has the zone of insensitivity δ . The presence of the zone of insensitivity can be considered as the additional delay. Interesting is the opinion of the value influence on the received coefficient of the quality, when one achieves the switch of controlling in the function of the deviation of the exit coordinate x. Proof of the areas of the achieved controlling quality lets solve the tasks of synthesis and the analysis of the steering system the turning processes in the well-founded way.

WSTĘP

Jako wskaźnik charakteryzujący jakość pracy układu stabilizacji automatycznej (UStA) siły skrawania na tokarkach [1] w dynamice, celowe jest przyjęcie maksymalnej wartości przeregulowania współrzędnej sterowanej. Przeregulowania siły skrawania wywołują przeciążenie układu technologicznego (UT) obrabiarki i wymuszają zmniejszanie wartości stabilizowanej siły skrawania. Powoduje to zmniejszenie intensywności procesu technologicznego oraz obniżenie wydajności procesu obróbki [2].

BADANIE OBSZARÓW OSIĄGALNEJ JAKOŚCI STEROWANIA PROCESEM TOCZENIA WZDŁUŻNEGO

Interesujące okazuje się wykazanie zależności przyjętego wskaźnika od parametrów regulatora i oddziaływań sterujących przy sterowaniu optymalnym, minimalizującym wartość przeregulowania. Otrzymane przy tym rezultaty będą charakteryzować graniczne możliwości układu i mogą być przedstawione w przestrzeni parametrów obiektu sterowania (OS), regulatora i oddziaływań sterujących w postaci jakości powierzchni równych wartościom przyjętego wskaźnika jakości. Schemat strukturalny analizowanego UStA przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat strukturalny UStA siły skrawania przy toczeniu

gdzie: $G_I(s) = \frac{k_I}{T_1 s + 1}$ - transmitancja operatorowa regulatora;

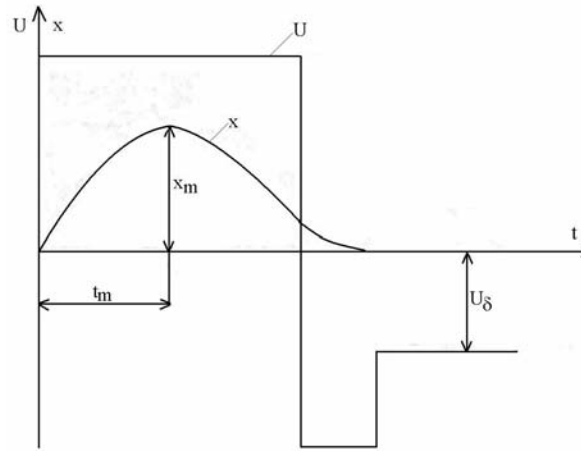
$G_I(s) = \frac{k_I}{T_2 s + 1}$ - transmitancja operatorowa OS po oddziaływaniu sterującym [3];

$G_{II}(s) = \frac{k_{II}}{T_2 s + 1}$ - transmitancja operatorowa OS po oddziaływaniu zakłócającym, pod

którym będziemy rozumieć zmianę naddatku b_1 na obróbkę [3].

Możliwe wystąpienie opóźnienia w kanale pomiarowym i przekazania informacji lub w regulatorze przedstawiono członem z transmitancją operatorową $e^{-s\tau}$.

Przy analizie pracy układu zakłada się, że jednocześnie z oddziaływaniami wymuszającymi, na układ działają oddziaływania sterujące U . Zgodnie z [4] oddziaływanie sterujące okazuje się być funkcją przekątnikową czasu przy obecności jednoczesnego ograniczenia, nakładanego na jego moduł. Ponadto można wykazać, że przy $0 < t < t_m$ (rys. 2) nie występuje przełączanie oddziaływania sterującego.



Rys. 2. Zależność zmian oddziaływania sterującego

Uwzględniając ww., równania różniczkowe ruchu układu dla odchyłeń można zapisać w postaci:

przy $0 < t < \tau$

$$T_2 \frac{dx}{dt} + x = k_{II} b_1, \quad (1)$$

przy $\tau < t$

$$T_1 T_2 \frac{d^2 x}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{dx}{dt} + 1 = k_1 k_I U + k_{II} b_1. \quad (2)$$

Dla ujednolicenia wyników wprowadzimy jednostki względne, przyjmując za bazowe oznaczenia: czasu – stałą czasową T_2 , oddziaływania sterującego - $u_\delta = -\frac{k_{II} b_1}{k_1 k_I}$, to jest

sterowanie, które zapewnia zerowy błąd statyczny przy oddziaływaniu zakłócenia danej wielkości.

Wprowadzimy następujące oznaczenia dla wielkości względnych:

$$T_1^\circ = \frac{T_1}{T_2}, T_2^\circ = 1, \tau^\circ = \frac{\tau}{T_2}, \theta = \frac{t}{T_2}, U = \frac{u}{u_\delta}. \quad (3)$$

Równania (1, 2) dla wielkości w jednostkach względnych będą miały postać:

przy $0 < \theta < \tau^\circ$

$$\frac{dx}{d\theta} + x = k_{II}b_1, \quad (4)$$

przy $\tau^\circ < \theta$

$$T_1^\circ \frac{d^2x}{d\theta^2} + (1 + T_1^\circ) \frac{dx}{d\theta} + 1 = k_1 b_1 (1 - U). \quad (5)$$

Rozwiązując równanie (5), z uwzględnieniem (4) otrzymamy następujące zależności dla współrzędnej wyjściowej:

$$x = k_{II} b_1 \left\{ \frac{U T_1^\circ}{T_1^\circ - 1} \exp\left(\frac{\tau^\circ - \theta}{T_1^\circ}\right) - \left[\exp(\tau^\circ) + \frac{U}{T_1^\circ - 1} \right] \exp(\tau^\circ - \theta) + 1 - U \right\}, \quad (6)$$

Zależność dla czasu (θ_m) osiągnięcia ekstremum funkcji $x(\theta)$ w jednostkach względnych otrzymano z warunku równości zera pochodnej współrzędnej wyjściowej i ma postać:

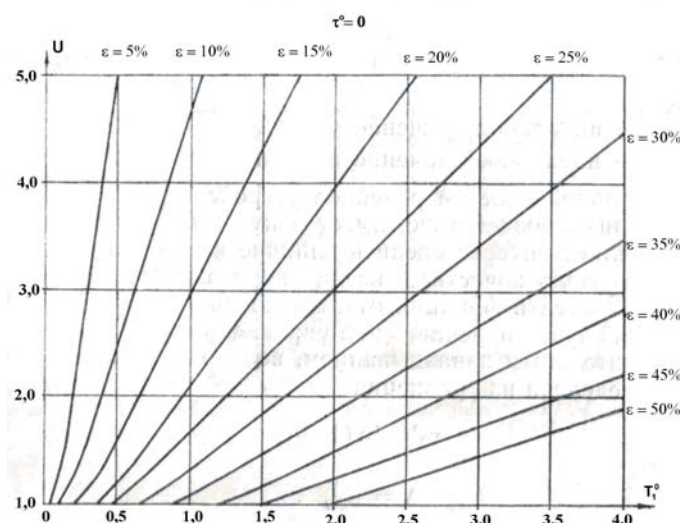
$$\theta_m = \tau^\circ + \frac{T_1^\circ}{T_1^\circ - 1} \ln \frac{(T_1^\circ - 1) \exp(-\tau^\circ) + U}{U}. \quad (7)$$

Wartości liczbowe θ_m i względnego przeregulowania ε przy wariacjach T_1°, τ°, U wyznaczono na PC zgodnie z (6) i (7); przy czym wielkość $k_{II} b_1$ przyjęto równą 1.

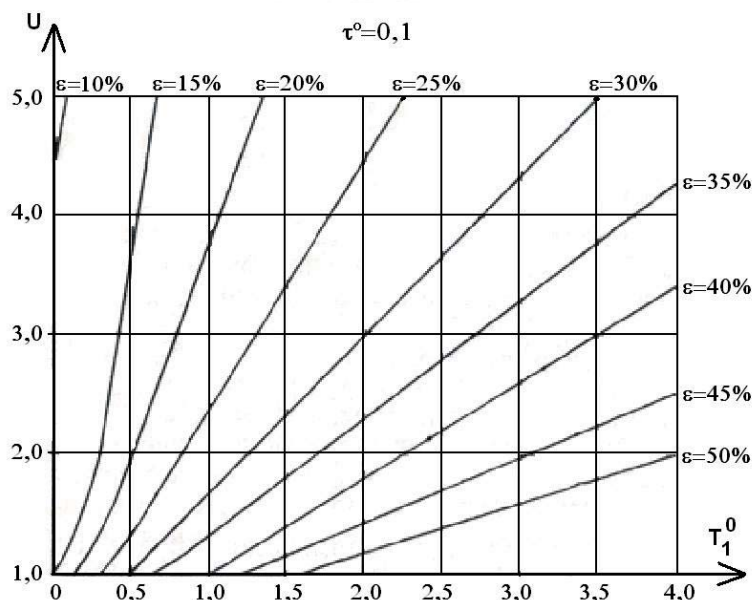
Na rys. 3 w układzie względnego oddziaływania sterującego U i względnej stałej czasowej regulatora T_1° pokazano krzywe stałych wartości przyjętego wskaźnika dla $\tau^\circ = 0$. Na rys. 4 pokazano krzywe $\varepsilon = const$ dla względnego czasu opóźnienia $\tau^\circ = 0,1$. Przejście od wielkości ε do przeregulowania może być zrealizowana na podstawie zależności:

$$\sigma\% = 100 \frac{x_m}{x_0} = \frac{b_1}{b_0} \varepsilon\%, \quad (8)$$

gdzie: x_0 – wartość początkowa współrzędnej regulowanej, b_0 – wartość początkowa nadatku na obróbkę.



Rys. 3. Zależność zmian przeregulowania przy $\tau^\circ = 0$

Rys. 4. Zależność zmian przeregulowania przy $\tau^{\circ} = 0,1$

BADANIE WPLYWU STREFY NIECZUŁOŚCI URZĄDZENIA NA WSKAŹNIK JAKOŚCI

W układzie rzeczywistym urządzenie przekąźnikowe przełączające oddziaływania sterujące ma strefy nieczułości δ . Ciekawa jest ocena wpływu wielkości δ na przyjęty współczynnik jakości, gdy przełączenie sterowania osiąga się w funkcji odchylenia współrzędnej wyjściowej x . W tym przypadku przełączenie sterowania będzie zachodziło z dodatkowym opóźnieniem, którego wartość może być wyznaczona z równania:

$$\tau_2^{\circ} = \ln(1 - \Delta), \quad (9)$$

gdzie:

$$\Delta = \frac{\delta}{k_{II} b_1}. \quad (10)$$

Takie uwzględnienie wpływu strefy nieczułości pozwala określić ε z wykorzystaniem równań (6) i (7). Przy tym pod τ° należy rozumieć sumaryczny czas opóźnienia, uwarunkowany czystym opóźnieniem τ_1° i wielkością τ_2° to jest: $\tau^{\circ} = \tau_1^{\circ} + \tau_2^{\circ}$

PODSUMOWANIE

Analiza rezultatów obliczeń wg równań (6) i (7) przy wariacjach wielkości $T_1^{\circ}, \tau^{\circ}, U, \Delta$ pozwala wyciągnąć następujące wnioski.

Przy nieobecności opóźnienia, ε w przybliżeniu liniowo zależy od T_1° i okazuje się funkcją nieliniową U . Wielkość $\left| \frac{d\varepsilon}{dU} \right|$ przy $U = \langle 1; 2,5 \rangle$ jest 1,5 do 2,5 razy większa od $\left| \frac{d\varepsilon}{dU} \right|$ dla $U = \langle 2,5; 3 \rangle$. Niecelowy jest więc wybór $U > (2,5; 3)$.

W przypadku $\tau^{\circ} = 0$ i wartości $T_1^{\circ} < (1,0; 1,2)$ oraz $U = \langle 2,5; 3 \rangle$ graniczne wskaźniki jakości znacznie przewyższają zwykle wymagane ($\sigma_w = 30 \div 35\%$), co pozwala wykorzystywać znacznie prostsze układy sterowania.

Zależność wielkości zapadnięcia dynamicznego od czasu opóźnienia jest bliskie liniowemu. Jeśli $\tau^\circ > (0,1; 0,15)$, $T_1^\circ > (1; 1,2)$, $U = \langle 2,5; 3 \rangle$ przeregulowanie przewyższa $30 \div 35\%$. Dlatego też w tym przypadku układ buduje się jak optymalny.

Obecność strefy nieczułości może być uwzględniona jako dodatkowe opóźnienie, wyznaczane zgodnie z (9), dzięki temu zachowuje się jednolitość przeprowadzonej analizy.

W ten sposób wykazanie obszarów osiąganego jakości sterowania pozwala w sposób uzasadniony rozwiązywać zadania syntezy i analizy układów sterowania procesami toczenia.

LITERATURA

- [1] Самоподнастраивающиеся станки. Управление упругими перемещениями. Под редакцией Б. С. Балакшина. М.: Машиностроение, 1970.
- [2] Видманов Ю.И., Абакумов А. М., Третьяк В.Е. Области достижимого качества управления процессом течения. Сб. «Алгоритмизация и автоматизация технологических процессов и промышленных установок». Куйбышев: КПТИ, Вып.4, 1973. – с. 8-13.
- [3] Тараненко В. А., Абакумов А. М. Динамические модели для оценки точности технологических систем. Москва: ВНИИТЭМР, Вып.1, 1989. – с. 56.
- [4] Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. Москва: Наука, 1966.

prof dr hab inż. W. Taranenko - pracownik Politechniki Lubelskiej, kierownik Zakładu Elastycznych Systemów Wytwarzania w Instytucie Technologicznych Systemów Informacyjnych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, w.taranenko@pollub.pl

dr inż. J. Zubrzycki - pracownik Politechniki Lubelskiej, kierownik Zakładu Systemów Informacyjnych w Instytucie Technologicznych Systemów Informacyjnych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, j.zubrzycki@pollub.pl

² prof. dr hab. inż. A. Abakumow - pracownik Samarskiego Państwowego Uniwersytetu Technicznego, kierownik Katedry Elektromechaniki, ul. Pierwomajskaja 18/134 443100 Samara, Rosja, abakumow-am@yandex.ru

doc. dr inż. G. Taranenko - pracownik Sewastopolskiego Narodowego Uniwersytetu Technicznego, prodziekan Wydziału Technologii, Automatykacji Budowy Maszyn, Przyrządów i Transportu, Streleckaja Bałka, Studgorodok, 99053 Sewastopol, Ukraina, ernoteh@mail.ru