

## МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ДУГОВИМ ЗВАРЮВАННЯМ

Я.Р.Козуч, Л.М.Заміховський, Р.М.Матвієнко, А.І.Лагойда, С.М.Дранчук

ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48003

e-mail: kafatp@ukr.net

*Подаються результати досліджень процесу зварювання. Для моделювання системи управління зварюванням розроблено програму в середовищі MATLAB. Для моделювання розроблено спеціальну програму – m-файл. Параметри регулятора було підбрано так, щоб перерегулювання не перевищувало 18%.*

Ключові слова: зварювання, процес, MATLAB, керування.

*Проведены результаты исследования процесса сварки. Для моделирования системы управления сваркой разработана программа в среде MATLAB. Для моделирования разработана специальная программа – m-файл. Параметры регулятора были подобраны таким образом, чтобы перерегулирование не превышало 18%.*

Ключевые слова: сварка, процесс, MATLAB, управление.

*The results of research of welding process are conducted. For the design of control the system welding the program was developed in the environment of MATLAB. For the leadthrough of design the special program was developed m-file. The parameters of regulator were neat so that pereregulirovanie did not exceed 18%.*

Keywords: welding, process, MATLAB, management.

Із використанням зварювання виготовляються як великогабаритні конструкції типу резервуарів для зберігання нафтопродуктів місткістю до 50 тис. м<sup>3</sup> і заввишки до 18 м, магістральні газопроводи та нафтопроводи, морські траулери завдовжки 250 м і вантажопідйомністю до 150 тис. тон, так і різні металеві конструкції для інших галузей господарства та пристрої мікроелектроніки. Прагнення до стабілізації якості зварних з'єднань і зниження трудомісткості при їх виготовленні одночасно із високими швидкостями отримання та обробки інформації про параметри технологічного процесу, потрібної для його керування – це важливий стимул автоматизації зварювальних процесів і установок [1].

Об'єктом автоматичного керування є, насамперед, власне процес формування зварного з'єднання. Для більшості способів зварювання його можна розглядати як результат функціонування системи «джерело живлення – джерело нагрівання – виріб» (рис. 1), що відбиває типологію послідовності перетворення енергії.

Деталізована схема зварювального процесу з урахуванням основних взаємозв'язків, притаманних дуговому зварюванню, наведена на рис. 2. За допомогою внутрішнього замкненого контуру I, який охоплює джерело живлення, плавкий електрод і дугу, реалізується процес самовирівнювання енергетичних параметрів дуги саморегулюванням плавлення електрода.

Контур II охоплює зварний шов, електрод, дугу і відбиває вплив прогинання вільної поверхні зварювальної ванни і глибини провару на довжину дуги. Результатом функціонування об'єкта є зварний шов, геометричні розміри якого (глибина провару  $h$ , ширина  $b$ , опуклість  $a$ ) поряд із хімічним складом і структурою визначають експлуатаційні властивості зварного з'єднання.

Характерною особливістю процесу формування зварного з'єднання є його істотна інерційність, зумовлена інерційністю теплових процесів у зоні зварювання. Для кожного конкретного випадку зварювання можна досить точно визначити джерела збурень, і тим самим виявити енергетичні, кінематичні і технологічні параметри, на які треба діяти з метою найкращої компенсації впливу збурень. При цьому за контрольовані параметри процесу дугового зварювання беруть напругу  $U_d$  і струм  $I_d$  дуги, глибину провару  $h$ , відстань між торцем електрода і поверхнею виробу  $l_d$ , теплове і світлове випромінювання з поверхні зварювальної ванни або кореня шва; за регулюючі дії – напругу холостого ходу джерела живлення  $U_{хх}$ , швидкість подавання електродного дроту  $V_{пд}$ , виліт електрода  $l_B$ , опір зварювального кола  $Z_d$ , частоту і амплітуду вимушених коливань дуги (електрода) або перемішень рідкого металу зварювальної ванни. Проте основним у системі автоматичного керування є пристрій для подавання електрода. З метою оптимізації процесу подавання розроблено систему автоматичного керування подавання електрода, схема якої представлена на рис. 3.

Для моделювання системи управління зварюванням було обрано програмне середовище MATLAB. На сьогодні система MATLAB є однією з найпотужніших систем імітаційного моделювання [3].

Для проведення моделювання було розроблено спеціальну програму m-файл. Даний файл можна розділити на декілька частин (блоків). Всі блоки супроводжуються коментарями.

В першому блоці користувачеві пропонується задати вихідні дані - вибрати діаметр електрода (5, 6.8 або 8.5 мм) та задати закон регулювання (ПІ або ПІД-закон регулювання) і його параметри (рис. 4).

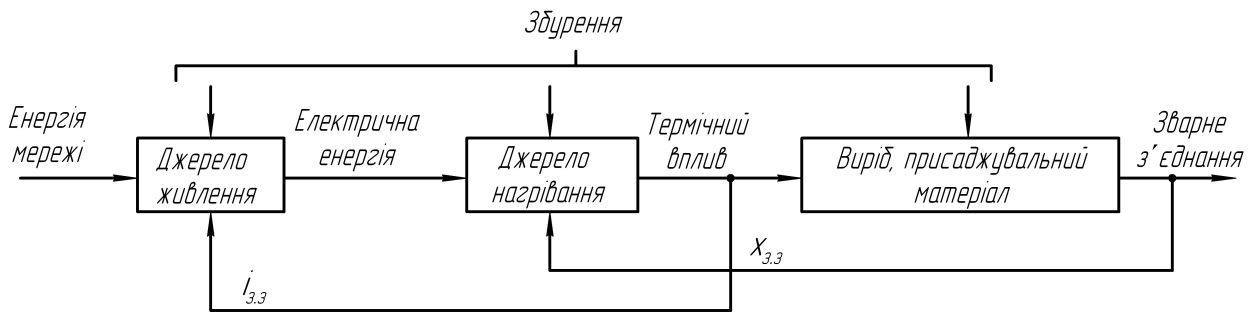


Рисунок 1 – Узагальнена схема зварювального процесу

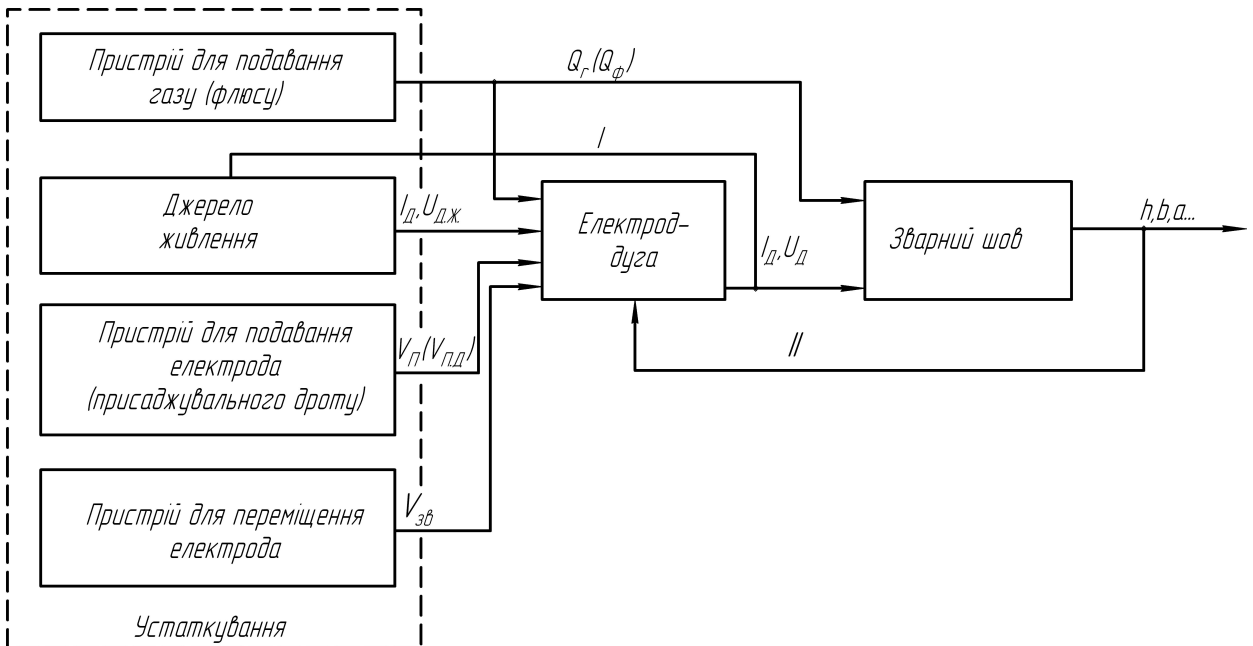


Рисунок 2 – Структура об'єкта керування у процесі дугового зварювання

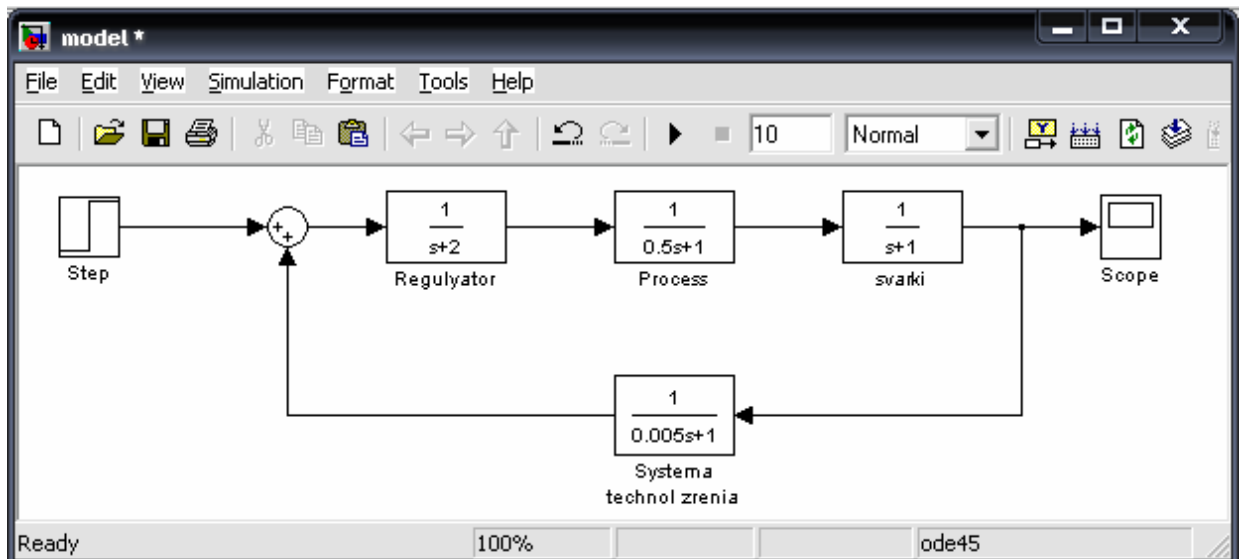


Рисунок 3 – Система автоматичного керування подавання електрода

В другому блоці проведено опис всіх функціональних елементів системи управління зварюванням у вигляді передаточних функцій та враховано тип та параметри регулятора. В результаті виконання даного блоку проводиться

побудова перехідної характеристики САК зварюванням, також надається можливість коригування часу моделювання для задавання кращого масштабу відображення перехідного процесу (рис. 5).

```

1 | clc
2 | % Вибір діаметра електрода
3 | diam=[5.0 6.8 8.5];
4 | dm=listdlg('ListString',diam,'PromptString',' Вибір діаметра електрода',...
5 |           'SelectionMode','single','ListSize',[150 120]);
6 | if dm==1
7 |     k=5.0;
8 | elseif dm==2
9 |     k=6.8;
10 | else
11 |     k=8.5;
12 | end
13 |
14 | % Вибір закону регулювання
15 | zak_reg={['PI'},{'PID'}];
16 | reg=listdlg('ListString',zak_reg,'PromptString',' Вибір закону регулювання',...
17 |           'SelectionMode','single','ListSize',[150 120]);
18 | if reg==1
19 |     PI=inputdlg({'Пропорційна складова регулятора','Інтегральна складова регулятора'},...
20 |               'Введіть параметри PI-регулятора',1,{'3','2'});
21 |     w_reg=tf([str2double(PI(1)) str2double(PI(2))],[1 0])
22 | else
23 |     PID=inputdlg({'Пропорційна складова регулятора','Інтегральна складова регулятора'},...
24 |                 'Диференціальна складова регулятора','Введіть параметри PID-регулятора',...
25 |                 1,{'3','2','0.3'});
26 |     w_reg=tf([str2double(PID(3)) str2double(PID(1)) str2double(PID(2))],[1 0])
27 | end
    
```

Рисунок 4 – Задання вихідних даних

```

29 | % Задання параметрів передаточних функцій
30 | EndTime=10;
31 | w_zv1=tf([1],[0.5 1]);
32 | w_zv2=tf([1],[1 1]);
33 | w_spost=tf([1],[0.005 1]);
34 | wz=k*feedback(w_reg*w_zv1*w_zv2,w_spost)
35 | step(wz,0:0.01:EndTime),grid
36 | btn = questdlg('Змінити час моделювання?','Час моделювання','Так','Ні','')
37 | if strcmp(btn,'Так')
38 |     EndTime=inputdlg({'Введіть нове значення часу моделювання'},'Час моделювання',1,{'8'});
39 |     EndTime=str2double(EndTime);
40 |     step(wz,0:0.01:EndTime),grid
41 | end
42 |
    
```

Рисунок 5 – Опис САК зварюванням за допомогою вбудованих в MATLAB функцій

В наступному блоці проводиться розрахунок основних характеристик перехідного процесу: значення перерегулювання та часу регулювання, а також допоміжних характеристик - час наростання перехідного процесу, часу досягнення першого максимального значення, максимального значення перехідної характеристики, кількість коливань та критичне значення коефіцієнта підсилення. Значення критичного коефіцієнта підсилення розраховується, вихо-

дячи з того положення, що в стійкій системі всі корені характеристичного полінома замкненої системи повинні бути “лівими”. У разі збільшення значення  $K_{кр}$  запаси стійкості зменшуються, і при певному значенні коефіцієнта підсилення корені “переходять” через уявну вісь вправо. Це значення  $K$  є критичним коефіцієнтом. Фрагмент розрахунку характеристик зображено на рис. 6.

```

43 % Розрахунок параметрів перехідної характеристики
44 % - максимальне значення перехідної характеристики
45 t=0:0.01:EndTime;
46 g=step(wz,0:0.01:EndTime);
47 line_graph=plot(t,g);grid
48 set(line_graph,'LineWidth',2);
49 h_max=g(1);
50 for i=2:EndTime/0.01+1
51     if g(i)>h_max
52         h_max=g(i);
53         im=i;
54     end
55 end
56 l_h_max=line([0 0.01*im],[h_max h_max]);
57 set(l_h_max,'LineStyle','-','Color',[0 1 0],'LineWidth',[1]);
58 l_t_max=line([0.01*im 0.01*im],[0 h_max]);
59 set(l_t_max,'LineStyle','-','Color',[0 1 0],'LineWidth',[1]);
    
```

Рисунок 6 – Розрахунок максимального значення перехідної характеристики

```

134 % Введення текстових надписів на графіку
135 if (k==5.0)
136 text(2.1,3.25, strcat('Перерегулювання:', num2str(round(sigma*100)/100)), 'FontWeight','bold','FontSize',12)
137 text(2.1,2.75, strcat('Час регулювання:', num2str(round(t_reg*100)/100)), 'FontWeight','bold','FontSize',12)
138 text(2.1,2.25, strcat('Час досягнення першого макс. знач.:', num2str(round(t_max*100)/100)), 'FontWeight','bold','FontSize',12)
139 text(2.1,1.75, strcat('Час наростання перех. характ.:', num2str(round(t_n*100)/100)), 'FontWeight','bold','FontSize',12)
140 text(2.1,1.25, strcat('Макс. значення перех. характ.:', num2str(round(h_max*100)/100)), 'FontWeight','bold','FontSize',12)
141 text(2.1,0.75, strcat('Кількість коливань:', num2str(n)), 'FontWeight','bold','FontSize',12)
142 text(2.1,0.25, strcat('Критичне значення коеф. підсил.:', num2str(kr)), 'FontWeight','bold','FontSize',12, 'Color','r')
    
```

Рисунок 7 – Оформлення графіка перехідної характеристики відповідними надписами

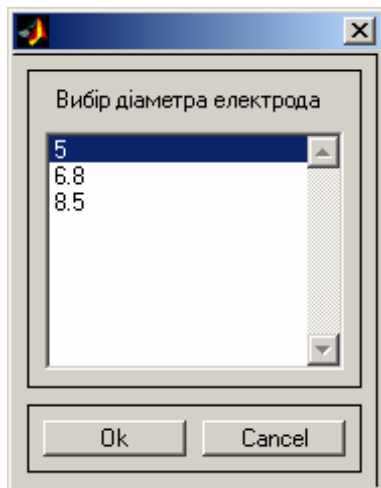


Рисунок 8 – Задання діаметра електрода

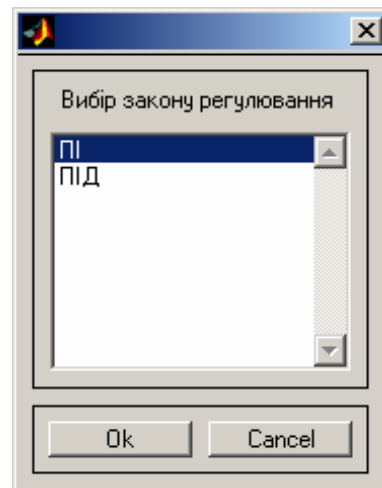


Рисунок 9 – Вибір типу регулятора

Останній блок призначений для виведення всіх розрахованих параметрів перехідної характеристики на графік.

Робочі вікна програми зображено на рис. 8-12.

У вікнах зображених на рисунках 8 і 9 користувачеві надається можливість вибрати необхідне значення діаметра зварювального шва та тип закону регулювання. Вибір проводиться зі списку, представленого в допоміжному вікні.

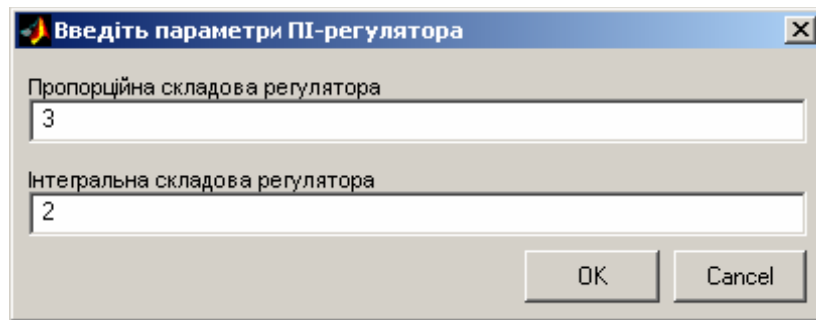


Рисунок 10 – Задавання параметрів регулятора

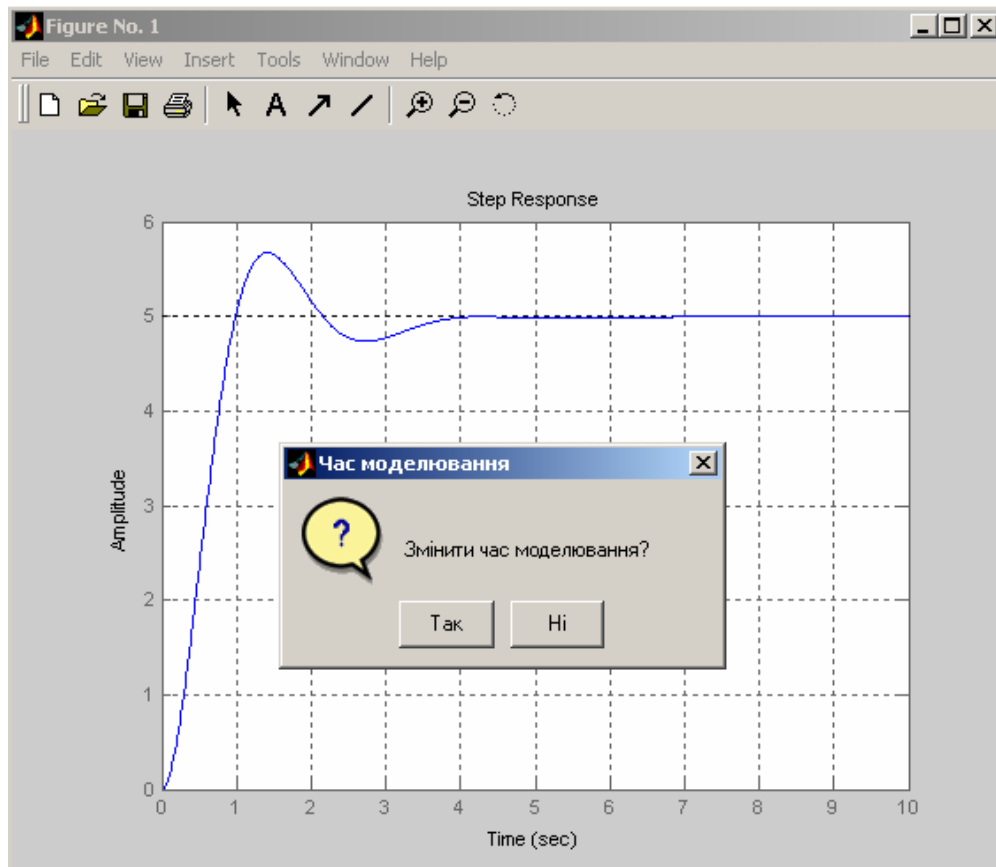


Рисунок 11 – Перехідна характеристика системи управління зваркою (налаштування часу моделювання)

В наступному вікні існує можливість змінити задані за замовчуванням параметри регулятора.

Після цього проводиться розрахунок перехідної характеристики САК зваркою та видається її графік. У діалоговому вікні, що з'являється, можна змінити час моделювання. Перерахунок негайно буде проведено. При натисканні на кнопку "Ні" програма розраховує основні та допоміжні показники якості перехідної характеристики і виводить їх в наступному вікні (рис. 12). Всі значення округлюються до сотих.

Параметри регулятора було підібрано так, щоб перерегулювання не перевищувало 18% (в даному випадку – 13,5%). Статична помилка в системі відсутня, оскільки використовується ПІ- або ПІД-регулятор.

## Висновки

Таким чином, розроблено систему автоматичного керування подаванням електрода при дуговому зварюванні, яка дає можливість оптимізувати процес зварювання і прогнозувати якісні показники регулювання в залежності від тих вимог, які закладені на стадії проектування систем автоматичного керування дуговим зварюванням.

## Література

1 Семенцов Г.Н. Автоматизоване керування зварюванням: навчальний посібник / [Г.Н. Семенцов, Я.Р. Когуч та ін.]. – Івано-Франківськ: SAYNEYU, 2006/ – 562 с.

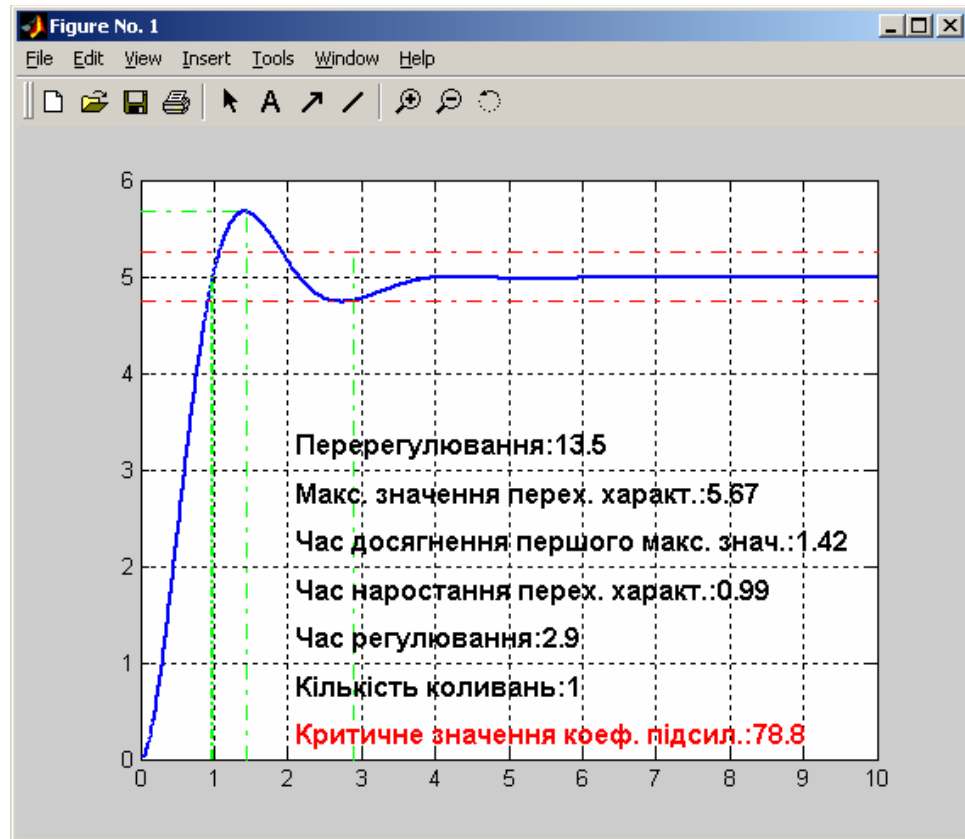


Рисунок 12 – Перехідна характеристика системи управління зварюванням з розрахованими показниками якості

2 Подола Н.В. Автоматизированные системы для контроля и управления контактной и дуговой сваркой на основе микроЭВМ / Н.В. Подола, Я.М. Руденко. – М.: Машиностроение, 1988 – 60 с.

3 Дорф Р. Современные системы управления. [перевод с англ. Б.И. Копылова] // Р. Дорф, Р. Бишоп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
16.11.09  
Рекомендована до друку професором  
Г. Н. Семенцовим