

УДК 681.5.01 (075.8)

**О.В. Засядьвовк, А.В. Писаренко**, канд.техн.наукНаціональний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
проспект Перемоги, 37, корпус 18, м. Київ, 03056, Україна.

## Синтез екстремальних систем керування

Досліджено та синтезовано крокову екстремальну систему з постійним інтервалом та крокову екстремальну систему з двома пробними кроками.

Розроблені моделі для досліджувальних систем керування (у статті розглянуті системи з одним керуючим впливом) за допомогою програмного пакету MATLAB/Simulink. Проведене моделювання даних екстремальних систем та на основі результатів обрано більш прийнятну з них. Бібл. 5, рис. 10.

**Ключові слова:** екстремальні системи керування, крокова система з постійним інтервалом, крокова система з двома пробними кроками, моделювання екстремальних систем, критерій якості, MATLAB.

### Вступ

Задача керування складними об'єктами та виробничими процесами полягає у виборі робочого режиму технологічного процесу, при якому можна отримати, наприклад, максимум продуктивності або мінімум втрати на виробництво одиниці продукції. Тому однією з актуальних задач є знаходження таких керуючих впливів, що відповідають оптимальним значенням показників якості, та підтримують такий режим при зміні зовнішніх збурень.

На даний час відомі підходи до побудови екстремальних систем, засновані на пошукових методах, самоналагоджувальних моделях та ідентифікаційному підході [2]. Однак питання дослідження ефективності застосування того чи іншого методу екстремального керування достатнім чином в літературі не розглянуто.

Метою данної статті є дослідження та порівняння двох типів систем екстремального керування, які різняться між собою методами пошуку робочої точки на екстремальній характеристиці, а саме крокова екстремальна система з постійним інтервалом керування та крокова екстремальна система з двома пробними кроками.

### Крокова екстремальна система з постійним інтервалом керування

Кроковий автоколивальний екстремальний регулятор використовує дискретний метод визначення оцінки величини похідної. Процес пошуку у крокового екстремального регулятора полягає в наступному: з початкової точки система робить крок вправо або вліво. Якщо в результаті цього руху виникає покращення показника якості, то система продовжує рух в тому ж напрямку, якщо показник погіршується, система реверсує. Якщо крок зміни керуючого впливу скінченний, система завжди пройде екстремум і навколо точки екстремуму встановляться автоколивання, частота і амплітуда яких буде залежати від параметрів об'єкту, параметрів регулятора і початкових умов роботи системи. Приріст керуючого впливу на  $s$ -му такті керування (закон керування крокової автоколивальної системи) буде мати вигляд

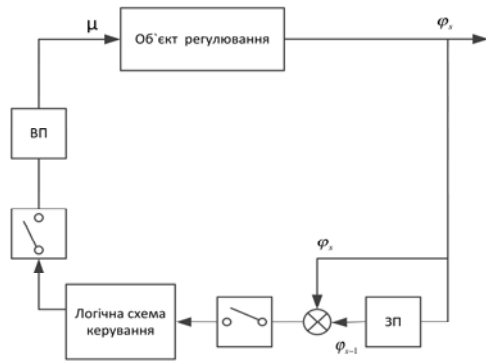
$$\sum_s = \pm \text{sign}(\varphi_s - \varphi_{s-1}) \sum_{s-1} \text{ при } \varphi_s - \varphi_{s-1} \geq \Delta \quad (1)$$
$$\sum_s = \sum_{s-1} \text{ при } \varphi_s - \varphi_{s-1} < \Delta,$$

де  $\sum_s$  – знак приросту керуючого впливу;  $\Delta$  – зона нечутливості регулятора;  $\varphi$  – вихід об'єкту керування.

При цьому інтервал керування  $t_s - t_{s-1} = T$  є постійним. Величина приросту керуючого впливу (крок керування) також стала:  $q = \text{const}$ ;  $s = 0, 1, 2, \dots$  – номер такту керування;  $\pm$  означає пошук мінімуму (-) чи максимуму (+).

Величина керуючого впливу на  $s$ -му такті при нехтуванні інерційністю виконавчого пристрою буде змінюватись за наступним співвідношенням:

$$\mu_s = \mu_{s-1} + q \sum_s.$$

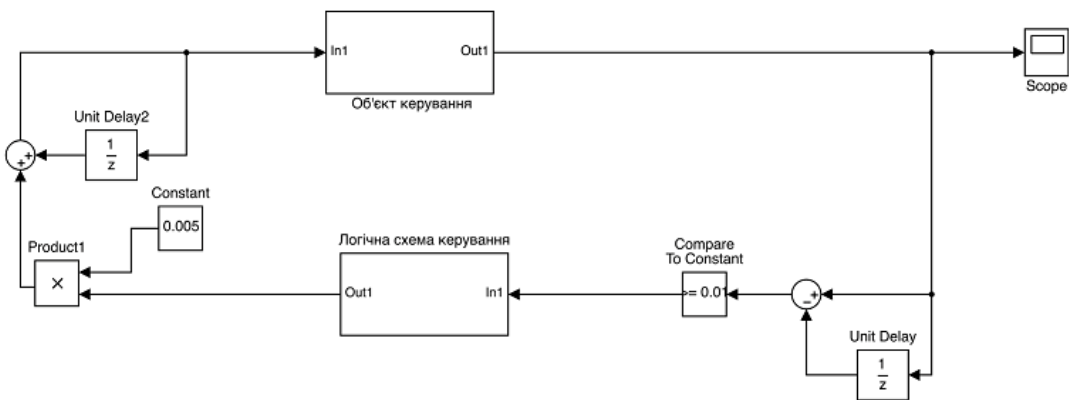


**Рис. 1. Блок-схема крокової екстремальної системи з двома керувачими впливами**

Блок-схема крокової системи показана на рис. 1. На рис. 1 ВП – виконавчий пристрій екстремального регулятора, логічна схема керування виконує алгоритм реверсування, ЗП – запам'ятовуючий пристрій зберігає значення виходу на попередньому кроці [1].

**Моделювання крокової екстремальної системи з постійним інтервалом керування**

На рис. 2 зображена модель крокової екстремальної системи з постійним інтервалом керування у пакеті MATLAB/Simulink згідно рівнянь (1) та блок-схеми на рис. 1.

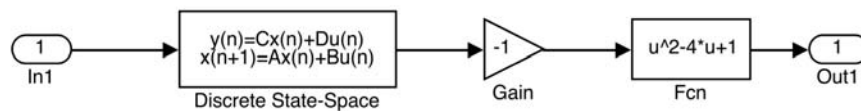


**Рис. 2. Модель крокової екстремальної системи з постійним інтервалом керування**

Блок “Compare To Constant” здійснює порівняння різниці з константою  $\Delta$ , що визначає зону нечутливості керуючого пристрою. В залежності від результату цього порівняння логічна схема керування виробляє необхідний знак приросту керуючого впливу. Блок “Constant” моделює величину приросту керуючого впливу (крок керування). Блок “Unit Delay” відповідає за зберіган-

ня значення вихідної величини об'єкту на попередньому кроці.

Модель об'єкту керування представлена на рис 3. Об'єкти керування, що розглядає теорія екстремальних систем, мають виражений екстремум статичної характеристики. Тому моделі таких об'єктів складаються з лінійної та нелінійної складових.



**Рис. 3. Модель об'єкту керування**

Логічна схема керування, модель якої представлена на рис. 4, реалізує стратегію пошуку (1).

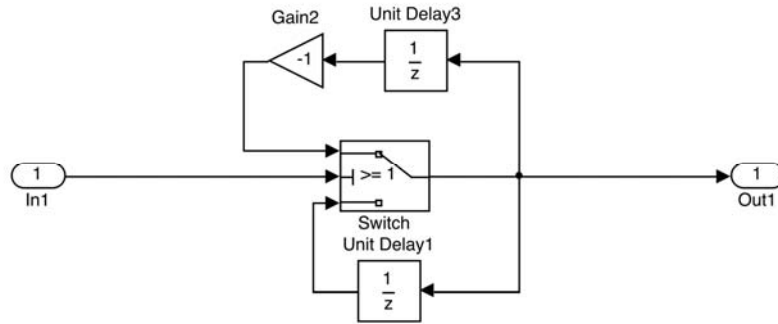


Рис. 4. Логічна схема керування

На рис. 5 представлено графік перехідного процесу системи керування. Як видно з графіку, в результаті система досягнула точки мінімуму

(-2,9) і навколо неї встановилися автоколивання.

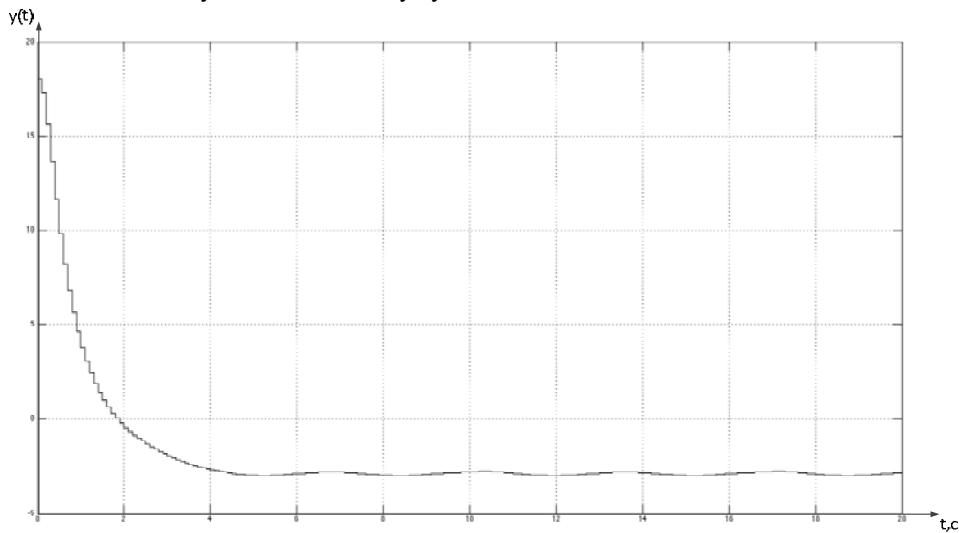


Рис. 5. Графік залежності значення критерію якості від часу

**Крокова екстремальна система з двома пробними кроками**

Даний метод пошуку екстремуму полягає в тому, що у деякій точці керуючий вплив отримує послідовно в часі прирощення  $+q_{пр}$  та  $-q_{пр}$  (величина  $q_{пр}$  називається пробним кроком зміни керуючого впливу). Тривалість кожного такого пробного руху рівна  $T_{пр}$ . Значення показника якості  $\varphi_s^+ = \varphi_s(\mu + q_{пр})$  і  $\varphi_s^- = \varphi_s(\mu - q_{пр})$  фіксуються. Далі обчислюється значення різниці  $\varphi^+ - \varphi^-$ , яке використовується для формування сигналу, що подається на виконавчий пристрій. Якщо припустити, що екстремальна характеристика об'єкта керування аппроксимується виразом

$$\varphi = \varphi_e \pm a(\mu - \lambda)^2,$$

де  $\varphi_e$  – значення показника якості в точці екстремуму; знаки  $\pm$  залежать від типу екстремуму, відповідно (-) – максимум, (+) – мінімум;  $\lambda$  – зовнішнє збурення, що переміщає точку екстремуму паралельно осі керуючих впливів.

Сигнал, що подається на виконавчий пристрій за умови, що за час, рівний  $2T_{пр}$ , можна вважати що  $\lambda = const$ , буде мати вигляд

$$\varepsilon_s = \varphi_s^+ - \varphi_s^- = \pm 4aq_{пр}(\mu_s - \lambda).$$

Після цього здійснюється робочий крок зміни керуючого впливу  $q_{роб}$  на величину пропорційну  $\varepsilon_s$ . Інтервал керування в цьому випадку  $T \geq 2T_{пр}$ .

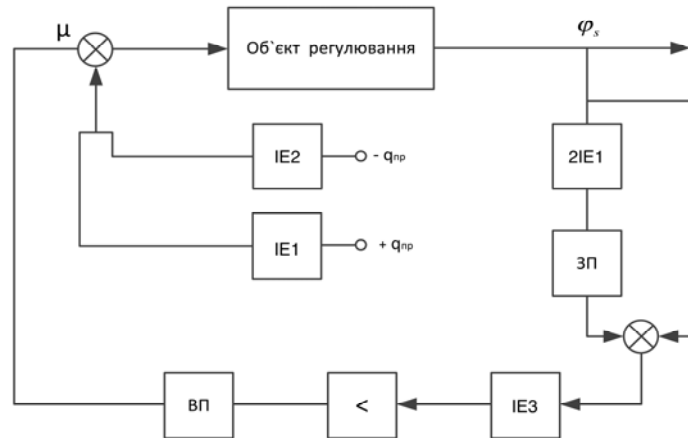


Рис. 6. Екстремальна система з двома пробними кроками

Блок-схема екстремальної системи з двома пробними кроками приведена на рис. 6. Керуючий вплив отримує додатній та від'ємний приріст через імпульсні елементи ІЕ1 та ІЕ2 відповідно. За допомогою запам'ятовуючого пристрою ЗП, що вмикається за допомогою 2ІЕ1, за-

пам'ятовується значення показника якості  $\varphi_s^+$ . Порівняння  $\varphi_s^+$  та  $\varphi_s^-$  виконується в момент замикання імпульсного елемента ІЕ3 [1]. Часові діаграми роботи імпульсних елементів представлені на рис. 7.

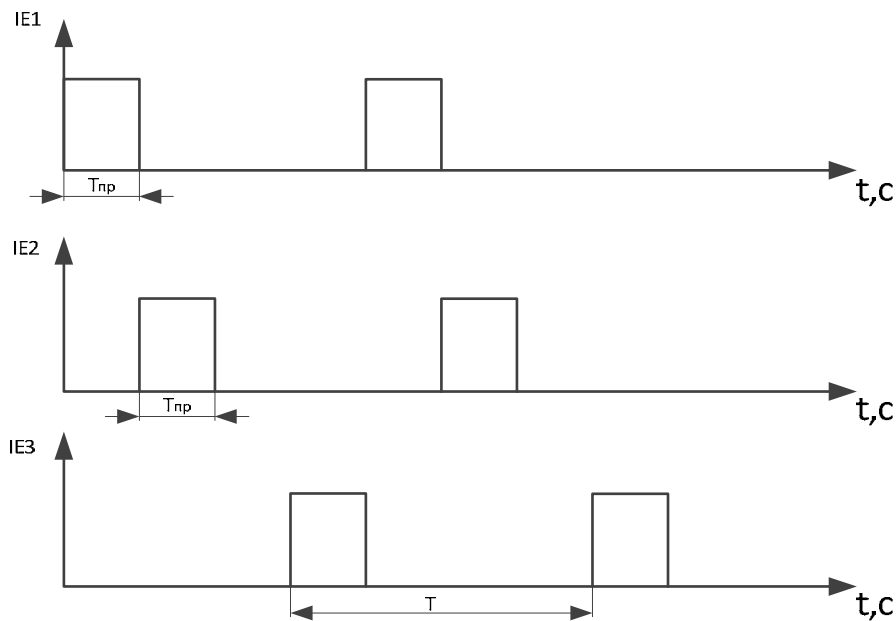


Рис. 7. Часові діаграми імпульсних елементів

### Моделювання крокової системи з двома пробними кроками

На рис. 8 зображена модель системи керування з двома пробними кроками в пакеті MATLAB/Simulink. Блок "Constant" задає вели-

чину приросту керуючого впливу (крок регулювання). Блок "Unit Delay" відповідає за зберігання значення сигналу на попередньому такті.

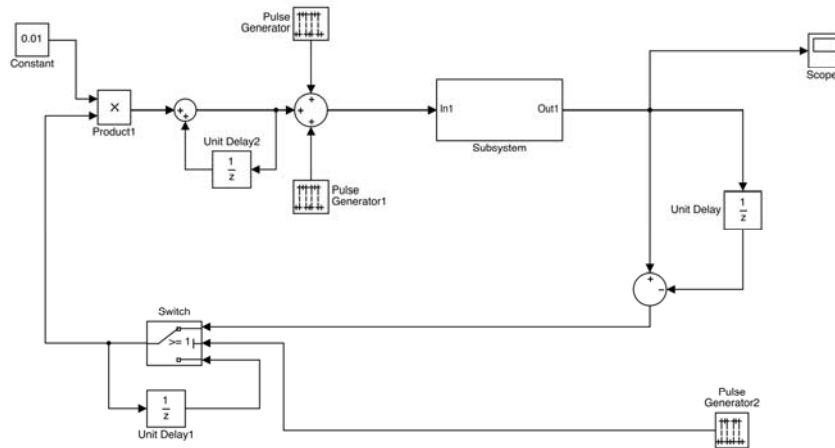


Рис. 8. Модель системи керування з двома пробними кроками в пакеті MATLAB/Simulink

Імпульсні елементи системи керування моделюються за допомогою блоків "Pulse Generator".

На рис. 9 представлено часові діаграми роботи імпульсних елементів системи. Перші два графіки ілюструють роботу блоків "Pulse

Generator1" та "Pulse Generator2", що відповідають за здійснення кроків. На третьому графіку показано роботу блоку "Pulse Generator3", що запускає процес порівняння відповідних значень показника якості системи.

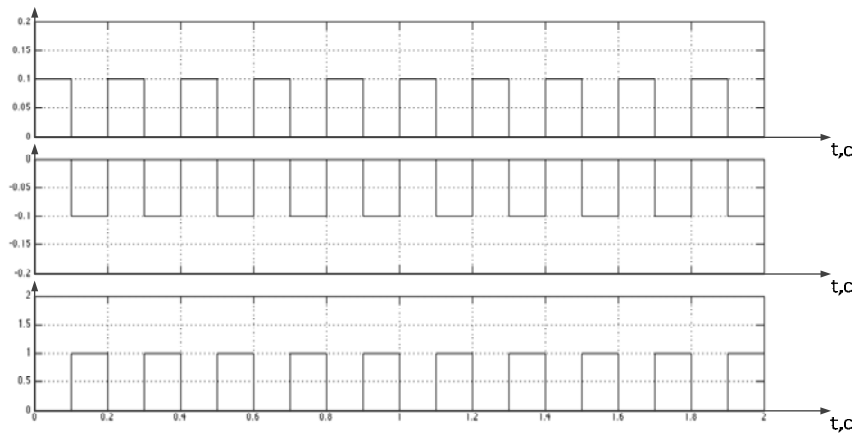


Рис. 9. Часові діаграми роботи імпульсних елементів

Модель об'єкту керування, що досліджувався, аналогічна розглянутому вище (рис. 3). Гра-

фік перехідного процесу системи керування представлений на рис. 10.

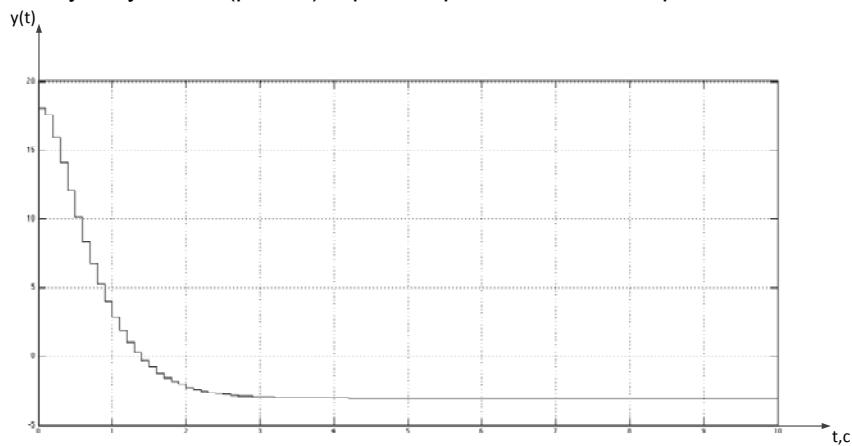


Рис. 10. Графік перехідного процесу системи керування

Як видно з наведеного графіку перехідного процесу, система досягає точки мінімуму  $-2,98$ .

### Висновки

В результаті моделювання крокової екстремальної системи з постійним інтервалом керування та системи керування з двома пробними кроками у пакеті MATLAB/Simulink обидві системи досягли мінімуму і встановили навколо точки екстремуму автоколивання. Оскільки в обох випадках розглядалася одна й та сама модель об'єкту керування, тому обидві системи досягли майже однакового значення екстремуму, а саме: крокова екстремальна система з постійним інтервалом керування вийшла на величину  $-2,9$  одиниць, а система з двома пробними кроками – на величину  $-2,98$ . Крім того, час пошуку екстремуму для першого та другого методів складає 5 та 3 секунди відповідно, при цьому амплітуда автоколивань в системі з постійним інтервалом керування помітно більша ніж в системі з двома пробними кроками.

Отже можна зробити висновок, що метод пошуку екстремуму з двома пробними кроками більш прийнятний з точки зору швидкості та то -

чності визначення точки екстремуму статичної характеристики об'єкту керування.

### Список використаних джерел

1. Під редакцією Чінаєва П. І. Самонастраивающиеся системы. Справочник - Киев: «Наукова думка» 1969 – 528с.
2. Либерзон Л. М., Родов А.Б. Система экстремального регулирования – Москва: «Энергия» 1965 – 158с
3. Браславский И.Я. Костылев А.В. Хабаров А.И. Исследование экстремальной скалярной системы управления асинхронным электроприводом в условиях изменения параметров объекта // Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина, 2013
4. А.В. Кондрашин, В.С. Карасев Реализация беспойсковой самонастраивающейся системы автоматического управления // «Вестник ИГЭУ» Вып. 1, 2012
5. В.А. Жмудь, Д.О. Терешкин, О.В. Прыткова Адаптивные системы автоматического управления // Сборник научных трудов НГТУ. – 2011. – № 1(63).

Поступила в редакцию 18 марта 2014 г.

УДК 681.5.01 (075.8)

**А.В. Засядьвовк, А.В. Писаренко**, канд.техн.наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», проспект Победы, 37, корпус 18, г. Киев, 03056, Украина.

## Синтез экстремальных систем управления

*В данной статье решается задача разработки шаговых экстремальных систем управления с постоянным интервалом регулирования и с двумя пробными шагами.*

*Проведено моделирование данных систем управления с помощью программного пакета Matlab/Simulink. В результате моделирования в обоих случаях установился колебательный процесс около экстремального значения. Также проведено сравнение результатов моделирования и выбран наиболее приемлемый метод. Библи. 5, рис. 10.*

**Ключевые слова:** экстремальные системы управления, шаговая система с постоянным интервалом регулирования, шаговая система с двумя пробными шагами, моделирование экстремальных систем, критерий качества, MATLAB.

UDC 681.5.01 (075.8)

**O.V. Zasyadvovk, A.V.Pisarenko**, Ph.D.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",  
Peremogy av., 37, build. 18, Kyiv, 03056, Ukraine.

## Synthesis of extreme control systems

*Problem of extreme stepper control systems development at regular intervals and control with two tentative steps was solved.*

*Mentioned systems using the software package MATLAB/Simulink were simulated. The simulation in both cases established oscillatory process around extreme values.*

*Also simulation results were compared and selected the most appropriate method. Reference 5, figures 10.*

**Keywords:** *extreme control systems, stepper systems with constant interval, stepper system with two test steps, extreme systems modeling, quality criteria, MATLAB.*

### References

1. *P.I. Chinayev* (1969), "Self-adjusting systems", Kiev: "Naukova Dumka". P. 528 (Rus).
2. *L.M. Liberzon, A.B. Childbirth* (1965), "Extreme regulation system", Moscow: "Energiya". P. 158 (Rus).
3. *I.J. Braslavsky, A.V. Kostylev, A.I. Habarov* (2013), "Investigation of extreme scalar control system of asynchronous electric with changing parameters of the object", Ekaterinburg: "Ural Federal University". P. 228-229 (Rus)
4. *A.V. Kondrashin, V.S. Karasev* (2012), "Implementation searchless adaptive automatic control systems", Ivanovo: "Vestnik ISPU" #1, P. 1-5 (Rus)
5. *V.A. Zhmud, D.O. Tereshkin, O.V. Prytkova* (2011), "Adaptive automatic control systems", Novosibirsk: "Proceedings NSTU", # 1 (63), P. 23-40 (Rus)