

Т.В. РОМАНЕНКО

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Н.Г. РУСІНА

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

У статті представлені приклади дослідження типових ланок лінійних систем та побудови й вивчення перехідних функцій (дослідження впливу параметрів елементів систем автоматичного керування на її якість). А саме: дослідження якості лінійних систем автоматичного керування шляхом визначення коефіцієнта помилки; дослідження впливу постійної часу форсуючої ланки на якість систем автоматичного керування методом дослідження якості перехідного і сталого режимів систем автоматичного керування; ідентифікацію регулятора і об'єкту керування систем автоматичного керування методом компенсації частини в основній інерційності об'єкту керування, для застосування форсуючої ланки. Для цього було застосовано візуальну мову програмування для моделювання динамічних систем та проектування VisSim.

Ключові слова: моделювання динамічних систем, мова програмування VisSim, система автоматичного керування.

TETIANA V. ROMANENKO

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

NATALIIA G. RUSINA

Taras Shevchenko National University of Kyiv

USE OF VISUAL PROGRAMMING LANGUAGE FOR SIMULATION OF DYNAMIC SYSTEMS

The article presents examples of research of typical links of linear systems and construction and study of transient functions, namely: research of influence of parameters of elements of systems of automatic control of its quality. Programs for automatic control are developing rapidly, the main areas of which are related to the optimization of technological processes and robotics. This encourages the introduction into modern production of high-precision digital systems with more extensive use of computer systems. In the simulation process, there is often a need to carefully select and apply real objects to study the quality of automatic control systems. This can be achieved by using a visual programming language for modeling dynamic systems and designing VisSim. The connection of parameters of automatic control systems with indicators of its quality is investigated: by definition of error coefficient; research of influence of a constant time of a forcing link on quality of automatic control systems by the method of compensation of the part in the main inertia of the control object, for the use of the forcing link. As a result, of research graphic dependences of quality of linear systems of automatic control, research of influence of a constant of time of a forcing link on its quality, carrying out identification of the regulator and object of management of systems of automatic control are received. Studies of the process of modeling dynamic systems were visually presented using the visual programming language VisSim. In particular, by creating virtual laboratory stands to study the quality of different modes of automatic control systems in relation to the performance of signal generators and the calculation of the necessary parameters of the study.

Keywords: modeling of dynamic systems, VisSim programming language, automatic control system.

Постановка проблеми

Нині для моделювання динамічних систем існують спеціальні програмні засоби та мови програмування різного рівня, за допомогою яких можна виконувати задачі моделювання. Для цього можна застосовувати: Mathcad [1], MATLAB [2], VisSim [3] та інші.

Проблема обрахунку показників якості є актуальною для процесу створення систем автоматичного керування (САК). Вона полягає у виявленні діапазонів зміни величини, що досліджується й збурення, та їхніх початкових похідних за зміною часу, в яких працюватиме САК із заданими показниками якості. Зокрема, якщо знати дані швидкодії та помилки стеження САК в режимі переходу, маючи показники частоти і величини факторів, які зумовлюють перехідний процес в САК, можна буде оцінити тривалість роботи САК з перебільшеною кількістю допустимих помилок.

Подальше вдосконалення обрахунку показників якості є може бути здійсненим за допомогою інших мов програмування.

Аналіз останніх джерел

Вагомий внесок у розвиток теорії автоматичного керування зробили Андронов О. О., Боголюбов М. М., Вознесенський І. М., Гольдфарб Л. С., Лур'є А. І. та ін. [4].

Питаннями автоматичного керування та моделювання присвячені роботи вітчизняних та зарубіжних авторів [4–11]. В роботах [12, 13] було представлено дані про роботу елементів амплітудно-імпульсних та цифрових систем автоматизованого регулювання з використанням візуальної мови програмування VisSim.

Програми для автоматичного керування стрімко розвиваються, основні напрями яких пов'язані з оптимізацією технологічних процесів і робототехнікою. Це спонукає до впровадження у сучасне виробництво високоточних цифрових систем із більш об'ємнішим застосуванням обчислювальних систем.

У процесі моделювання часто виникає потреба вибачено вибирати та застосовувати реальні об'єкти для дослідження якості систем автоматичного керування. Цього можна досягти за допомогою мови програмування VisSim.

Мета статті полягає в дослідженні методів аналізу якості САК, проведенні експериментального визначення показників якості перехідного та усталеного режимів роботи САК, дослідженні зв'язку параметрів САК із показниками її якості.

Виклад основного матеріалу

Моделювання процесів автоматизованих систем керування має широке застосування в сучасній науці, техніці, економіці та освіті [10].

Принципи автоматичного керування ґрунтуються на забезпеченні потрібної якості управління в процесі гнучкої, надійної дискретно-керованої САК. Завдяки цьому з'явилася можливість, завдяки якій велику кількість (множини) різних сигналів, що знаходяться на вході регулятора, можна сформувати у вихідну функцію (лінійну, нелінійну).

Для дослідження впливу параметрів елементів САК на її якість можна використати візуальну мову програмування для моделювання динамічних систем та проектування VisSim [12].

Візуальна мова програмування для моделювання динамічних систем та проектування VisSim – це мова програмування, призначена для моделювання динамічних систем та проектування, яка ґрунтується на моделях для вбудованих мікропроцесорів. У VisSim міститься інтуїтивний інтерфейс, для можливості побудови блочних діаграм. Програма VisSim має потужне моделююче ядро, слугує для будування, оптимізації та дослідження моделей технічних об'єктів чи систем керування [14].

Завдяки VisSim можна легко та швидко створювати віртуальні прототипи довільної динамічної системи. Базовий продукт програми VisSim застосовується для загального моделювання, імітації, системи керування дизайнерськими програмами та іншого [15].

Розглянемо приклади дослідження типових ланок лінійних систем та побудови й вивчення перехідних функцій для дослідження впливу параметрів елементів САК на її якість.

1. Дослідження якості лінійної САК

Основний принцип експериментального визначення коефіцієнтів помилок детально розглянуто Федосовим Б.Т. [11].

Визначення коефіцієнта помилки за положенням

З формули

$$e(t) = c_0 x(t), x(t) = \text{const}, \quad (1)$$

виходить, що при постійній дії, що дорівнює одиниці, помилка регулювання буде визначати рівності коефіцієнта помилки за положенням c_0 . Тобто, число помилки, що стало в результаті дії на САК ступінчастої одиничної функції рівний коефіцієнту помилки положення c_0 [11].

Наведемо приклад експериментального визначення коефіцієнта помилки за положенням для наявної системи.

Визначення часу регулювання t_p , перерегулювання σ і коефіцієнта помилки за положенням c_0 . Основа віртуального лабораторного стенду для дослідження якості перехідного режиму САК і визначення її коефіцієнтів помилок, що представлено на рисунку 1.

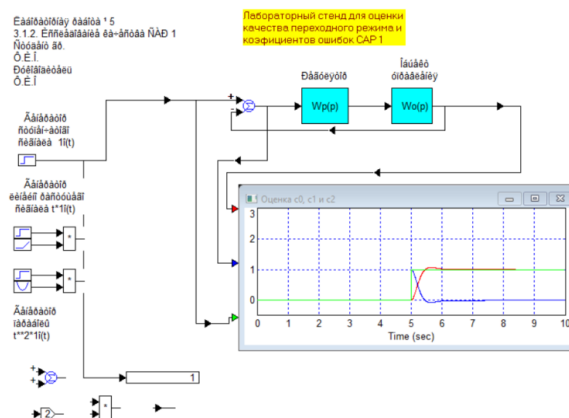


Рис. 1. Основа віртуального лабораторного стенду для дослідження якості перехідного режиму САК і визначення її коефіцієнтів помилок

Таблиця 1

Показники генераторів сигналів

Генератор сигналу	t_p	σ	c_0
Ступінчастого	1 с	160	-1.66533
Лінійно зростаючого	0.5 с	200	0.163043
Параболи	0.5 с	200	16.4146

Значення c_0 зображені на рисунку 2

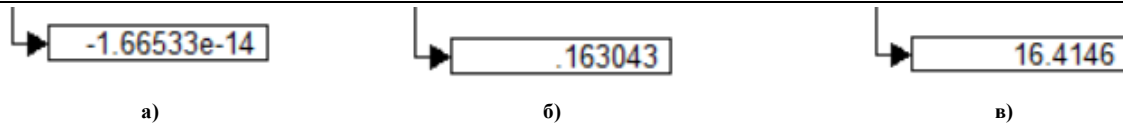


Рис. 2. Показники генератору сигналу c_0 : а) ступінчастий; б) лінійно зростаючий; в) параболи

Визначення коефіцієнта помилки за швидкістю

Під час лінійно зростаючих параметрів $t=10$ (t) після завершення перехідних процесів для дослідження помилки можна на основі рівняння (2)

$$e(t) = c_0 x(t) + c_1 \frac{d}{dt} x(t) + \frac{c_2}{2} \frac{d^2}{dt^2} x(t) + \dots, \quad (2)$$

записати:

$$e(t)_{t \rightarrow \infty} = c_0 t + c_1, \quad (3)$$

оскільки в режимі, що вже встановився, перша похідна завдання матиме значення, що рівне одиниці $d/dt \{x(t)\} = 1$, а друга похідна завдання рівна нулю: $d^2/dt^2 \{x(t)\} = 0$. Звідси

$$c_1 = e(t)_{t \rightarrow \infty} - c_0 t, \quad (4)$$

Приклад експериментального визначення коефіцієнта помилки за швидкістю для даної системи.

Визначення коефіцієнта помилки за швидкістю c_1 , зображено на рисунку 3. Якщо $c_0 = -1.66533$, то c_1 за даною схемою дорівнює 17.2698190970456.

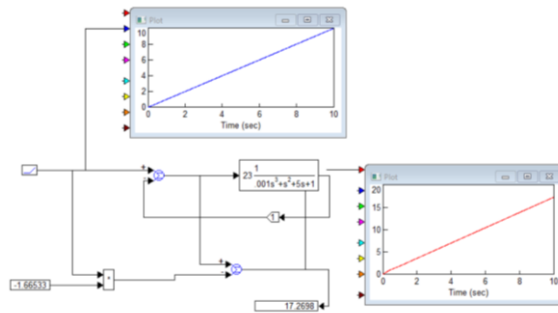


Рис. 3. Визначення параметра c_1

Якщо $c_0 = 0.163043$, то c_1 за цією схемою дорівнює -1.01391, як на рисунку 4.

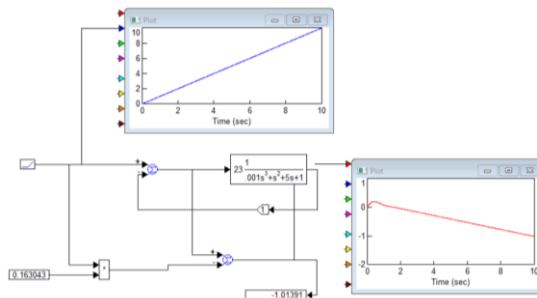


Рис. 4. Визначення параметра c_1

Якщо $c_0 = 16.4146$, то c_1 за схемою дорівнює -163.529, як на рисунку 5.

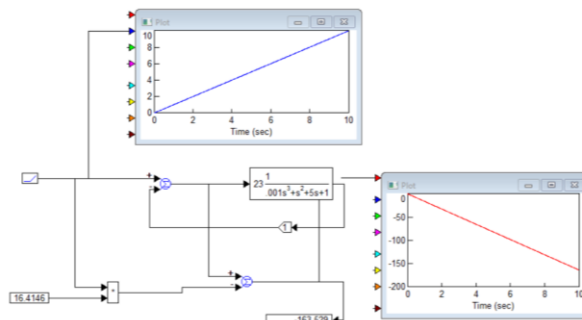


Рис. 5. Визначення параметра c_1

У САК першого порядку астатизму сам коефіцієнт помилки за показниками положення c_0 рівний нулю і схема його визначення спрощується.

Також, на базі формули (2) за аналогією з (3) та (4) може бути побудована й модель для експериментального визначення **коефіцієнта помилки за прискоренням**. В даному випадку на вході САК потрібно подавати сигнал, що зростає по параболі [11].

Визначення коефіцієнта помилки за прискоренням c_2 .

Враховуючи формулу (2), під час параболічної дії виду $x(t) = t^2 l_0(t)$, що має похідні із $t > 0$:

$$\dot{x}(t) = 2t, \quad \ddot{x}(t) = 2, \quad (5)$$

коефіцієнт помилки за прискоренням c_2 буде:

$$c_2 = e(t)_{t \rightarrow \infty} - c_0 t^2 - c_1 \cdot 2t, \quad (6)$$

2. Дослідження впливу постійної часу форсуючої ланки на якість САК

Для збільшення швидкодії САК **форсисним** способом можна використати спосіб послідовного включення на її вході форсуючої ланки та оцінити можливості скорочення часу регулювання, визначення параметрів якості САК.

Визначення часу параметрів якості перехідного режиму і коефіцієнта помилки за положенням c_0 показано на рисунку 6 та показниками генераторів сигналів (табл. 2).

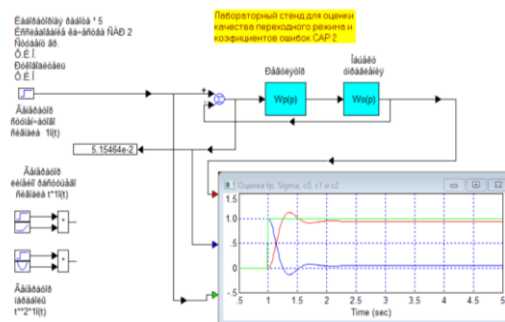


Рис. 6. Основа віртуального лабораторного стенду для дослідження якості перехідного і сталого режимів САК. Внутрішня структура регулятора і об'єкту керування невідома (захищена паролем)

Таблиця 2

Показники генераторів сигналів

Генератор сигналу	t_p	σ	c_0
Ступінчастого	0.5 с	300	0.051546
Лінійно зростаючого	0.6с	200	2.67534
Параболи	0.6 с	100	24.5398

Значення c_0 зображено на рисунку 7.

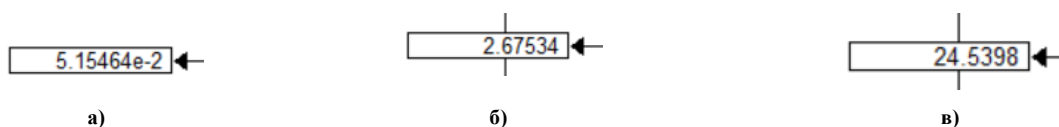


Рис. 7. Показники генератору сигналу c_0 : а) ступінчастий; б) лінійно зростаючий; в) параболи

Визначення коефіцієнта помилки за швидкістю c_1 , зображено на рисунку 8. Якщо $c_0 = 0.051546$, то c_1 за даною схемою дорівнює -0.294114.

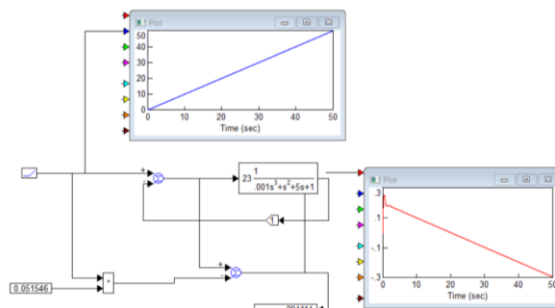
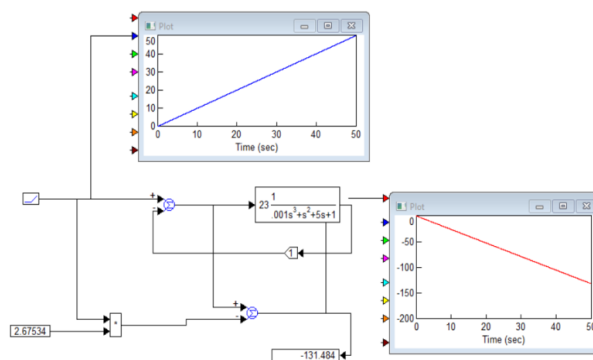
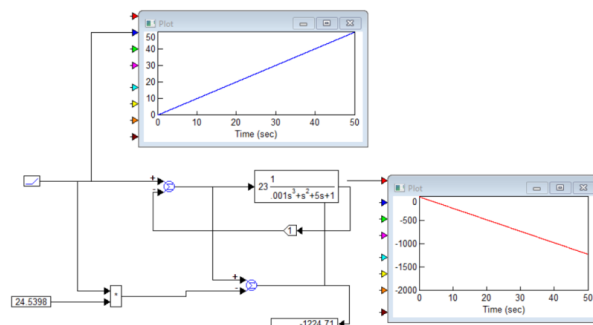


Рис. 8. Визначення параметра c_1

Якщо $c_0 = 2.67534$, то c_1 за даною схемою дорівнює -131.484, що показано на рисунку 9.

Рис. 9. Визначення параметра c_1

Якщо $c_0 = 24.5398$, то c_1 по даній схемі дорівнює -1224.71 , що на рисунку 10.

Рис. 10. Визначення параметра c_1

3. Ідентифікація регулятора і об'єкту керування САК

Дослідження впливу постійної часу форсуючої ланки на якість САК, зображено на рисунку 11.

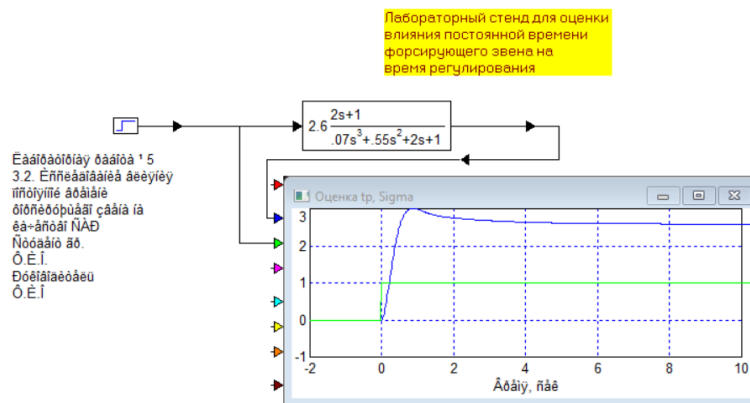


Рис. 11. Лабораторний стенд для оцінки впливу постійної часу форсуючої ланки на якість САК

Слід зауважити, що будь-яка математична модель реального об'єкту чи системи спеціально обмежена. Це зроблено для того, щоб дослідники будуючи моделі, описували тільки основні та, необхідні властивості систем для вирішення конкретного завдання. Завдяки таким обмеженням створені моделі стануть осяжними, що значно полегшує їх дослідження.

Однак, для процесу збільшення швидкодії САК методом компенсації частини в основний інерційності об'єкту керування, для застосування форсуючої ланки є неминучим. Для цього будуть потрібні дуже великі потужності для процесу керування об'єктом. На це слід звертати увагу.

Тому, схема проєктованої САК окреслюється не тільки необхідністю виконання самих вимог якості керування, що здобувається за допомогою моделі, але ще й іншими вимогами, що виникають на певних етапах реалізації оптимізованої моделі (може вплинути на зміни моделі або її елементів).

Ідентифікація регулятора САК, зображено на рисунку 12.

Лабораторная работа № 5
3.3.1. Идентификация
регулятора САР 1
Студент гр.
Ф.И.О.
Руководитель
Ф.И.О.

Лабораторный стенд для идентификации
регулятора САР 1



Рис. 12. Стенд для ідентифікації регулятора САК

За перехідною функцією в цьому разі доцільно збудувати модель, яка складатиметься з паралельного з'єднання ланок:

$$W_p(p) = k_n + \frac{1}{pT_u}, \quad (7)$$

а за частотними характеристиками – модель з послідовно сполучених ланок:

$$W_p(p) = k_p + \frac{(pT_\phi + 1)}{p}, \quad (8)$$

Поведінка частотних характеристик на високих частотах представлені на рисунку 13.

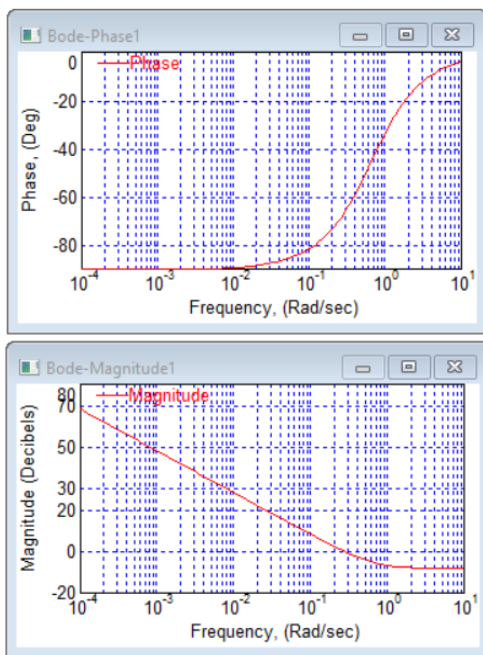


Рис. 13. Поведінка частотних характеристик на високих частотах

сигналів (табл. 1; табл. 2) та обчислень необхідних параметрів дослідження.

Висновки

Отже, застосовуючи методи аналізу якості САК, експериментально виявивши показники якості перехідного і сталого режиму роботи САК, дослідили зв'язок параметрів САК із показниками її якості за допомогою візуальної мови програмування для моделювання динамічних систем та проектування VisSim. Схеми проектованої САК окреслюються виконанням вимог якості керування, які набуваються за допомогою моделей та інших вимог, що виникають на певних етапах реалізації оптимізованої моделі, зокрема, урахуванням виявлених коефіцієнтів помилок різних досліджуваних характеристик.

Отримані дослідження типових ланок лінійних систем та побудови й вивчення перехідних функцій для дослідження впливу параметрів елементів САК на її якість та були візуально представлені за допомогою візуальної мови програмування VisSim у вигляді створених віртуальних лабораторних стендів для дослідження якості різних режимів САК відносно показників генераторів сигналів та обчислень необхідних параметрів дослідження.

Література

1. PTC Mathcad Prime [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://mathcad.com.ua/>.
2. MATLAB [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
3. VisSim – Modelling and Simulation of Complex Dynamic System [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.adeptscience.co.uk/products/mathsim/VisSim>
4. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування : підручник / Попович М. Г., Ковальчук О. В. – 2-е вид., перероб. і доп. – К. : Либідь, 2007. – 656 с.
5. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування : підручник / А. О. Іванов – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.
6. Гоголюк П.Ф. Теорія автоматичного керування : підручник / П.Ф. Гоголюк, Т.М. Гречин. – Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – 285 с.
7. Бобух А.О. Автоматизація інженерних систем : навч. посібник / А.О. Бобух. – Харків : ХНАМГ, 2005. – 212 с.
8. Peter A. Darnell. C A Software Engineering Approach: A Software Engineering Approach / Peter A. Darnell, Philip E. Margolis. – USA : Springer – 3rd ed., 1996. – 526 p.
9. Karen Darnell. Visual Simulation: With Student VisSim (General Engineering) / Karen Darnell. – Pws Pub Co: Pap/Dsk edition, 1996. – 278 p.
10. Харабет О.М. Вивчення класичної теорії автоматичного управління за допомогою сучасного персонального комп'ютера / Харабет О.М. – Одеса : Бахва, 2014. – 205 с.
11. Федосов Б.Т. Об оценке качества линейных САР с использованием программ моделирования [Електронний ресурс] / Федосов Б.Т. – Казахстан, 2003. – Режим доступа : http://model.exponenta.ru/bt/bt_0004.html
12. Бодненко Т.В. Дослідження елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання у програмному середовищі VisSim / Т.В. Бодненко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2015. – № 21 (1130). – С. 23–29.
13. Бодненко Т.В. Використання сучасних комп'ютерних технологій для автоматизації виробничих процесів / Т.В. Бодненко // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2/2 (22). – С. 43–49.
14. VisSim. A graphical language for simulation and model-based embedded development [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.VisSim.com/>
15. VisSim 5.40 User Manual – Berlin, Germany: PTV Planung Transport Verkehr AG, epubli., 2012. 732 p.

References

1. PTC Mathcad Prime [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu : <http://mathcad.com.ua/>.
2. MATLAB [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu : <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
3. VisSim – Modelling and Simulation of Complex Dynamic System [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.adeptscience.co.uk/products/mathsim/VisSim>
4. Popovych M. H. Teoriia avtomatichnoho keruvannia : pidruchnyk / Popovych M. H., Kovalchuk O. V. – 2-e vyd., pererob. i dop. – K. : Lybid, 2007. – 656 s.
5. Ivanov A. O. Teoriia avtomatichnoho keruvannia : pidruchnyk / A. O. Ivanov – Dnipropetrovsk : Natsionalnyi hirnychiy universytet, 2003. – 250 s.
6. Hoholiuk P.F. Teoriia avtomatichnoho keruvannia : pidruchnyk / P.F. Hoholiuk, T.M. Hrechyn. – Lviv : Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu "Lvivska politehnika", 2008. – 285 s.
7. Bobukh A.O. Avtomatizatsiia inzhenernykh system : navch. posibnyk / A.O. Bobukh. – Kharkiv : KhNAMH, 2005. – 212 s.
8. Peter A. Darnell. C A Software Engineering Approach: A Software Engineering Approach / Peter A. Darnell, Philip E. Margolis. – USA : Springer – 3rd ed., 1996. – 526 p.
9. Karen Darnell. Visual Simulation: With Student VisSim (General Engineering) / Karen Darnell. – Pws Pub Co: Pap/Dsk edition, 1996. – 278 p.
10. Kharabet O.M. Vyvchennia klasychnoi teorii avtomatichnoho upravlinnia za dopomohoiu suchasnoho personalnoho kompiutera / Kharabet O.M. – Odesa : Bakhva, 2014. – 205 s.
11. Fedosov B.T. Ob ocenke kachestva lineynykh SAR s ispol'zovaniem programm modelirovaniya [Elektronnij resurs] / Fedosov B.T. – Kazakhstan, 2003. – Rezhim dostupa : http://model.exponenta.ru/bt/bt_0004.html
12. Bodnenko T.V. Doslidzhennia elementiv amplitudno-impul'snykh i tsyfrovyykh system avtomatyzovanoho rehuliuвання u prohramnomu seredovishchi VisSim / T.V. Bodnenko // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI» Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. – Kh. : NTU «KhPI». – 2015. – № 21 (1130). – S. 23–29.
13. Bodnenko T.V. Vykorystannia suchasnykh kompiuternykh tekhnolohii dlia avtomatyzatsii vyrobnychykh protsesiv / T.V. Bodnenko // Tekhnolohicheskyy audyt y rezervy proyzvodstva. – 2015. – № 2/2 (22). – С. 43–49.
14. VisSim. A graphical language for simulation and model-based embedded development [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.VisSim.com/>
15. VisSim 5.40 User Manual – Berlin, Germany: PTV Planung Transport Verkehr AG, epubli., 2012. 732 p.

РОМАНЕНКО Т. В.

ORCID ID: 0000-0002-9790-2718

tan.romanenko25@gmail.com

РУСИНА Н. Г.

ORCID ID: 0000-0002-5595-9548

e-mail: rusina@knu.ua

Надійшла/Paper received : 26.04.2021 p. Надрукована/Printed : 02.06.2021 p.