

**Попов С.О., Попрожук Е.О.**  
Криворожский национальный университет

## ПРОЕКТНООРИЕНТИРОВАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В СФЕРЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕМОНТОВ И МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

### Аннотация

Статья посвящена доказательству того, что деятельность в сфере ремонтов и модернизации сложного технологического оборудования принадлежит к проектноориентированной на основании анализа классического понятия «проект». В статье рассмотрены основные трактовки понятия «проект» и определены его основные характеристики. Проанализировано понятие ремонтов и модернизации сложного технологического оборудования. Доказана принадлежность указанной деятельности к проектноориентированной в связи с соответствием основным признакам проекта. Обоснована необходимость использования методологии управления проектами к проектам ремонтов и модернизации сложного технологического оборудования.

**Ключевые слова:** проект, управление проектами, ремонт, модернизация, сложное технологическое оборудование, проектноориентированная деятельность.

**Popov S.O., Poprozhuk O.O.**  
Kryvyi Rih National University

## INDUSTRIAL RENOVATION AND MODERNIZATION OF EQUIPMENT AS THE PROJECT ORIENTED ACTIVITIES

### Summary

The article is devoted to proving that the activity in the field of renovation and modernization of the complex technological equipment belongs to project oriented activities by analyzing the classical notion of «project». There are basic interpretation of the concept «project» and the main characteristics of the project in the article. There is the analyzing of the notion of renovation and modernization of complex technological equipment in the article. Proved belonging this activity to the project oriented through compliance with the essential characteristics of the project. There is the necessity of the using the project management methodology to the projects of renovation and modernization of the complex technological equipment.

**Keywords:** project, project management, renovation, modernization, complex technological equipment, project oriented activities.

УДК 519.87

## ПОБУДОВА ДИНАМІЧНИХ МАКРОМОДЕЛЕЙ ДІЛЯНОК ДОВГИХ ЛІНІЙ ІЗ МІКРОПРОВОДУ

**Протасов С.Ю.**

Черкаський державний технологічний університет

Стаття присвячена побудові макромоделей ділянок довгих ліній із мікропроводу, які відносяться до складних динамічних об'єктів з розподіленими параметрами. Відповідно до натурного експерименту за схемою випробувань, одержано вихідні дані про перехідний процес в РС-лінії. За експериментально отриманою перехідною характеристикою побудовані динамічні макромоделі у вигляді передатної дробово-раціональної функції та інтегрального рівняння. Актуальність методу макромоделювання в даній роботі підтверджують результати обчислювальних експериментів, які свідчать про ефективність отриманих макромоделей. Таким чином, даний підхід дозволяє розширити можливості сучасних комп'ютерних засобів проведення наукових та інженерних розрахунків в задачах аналізу і синтезу ділянок довгих ліній та електричних ланцюгів.

**Ключові слова:** динамічна макромодель, передатна функція, перехідна характеристика, довга лінія, мікропровід.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Один і той же реальний динамічний об'єкт може бути описаний різними як еквівалентними так і нееквівалентними моделями. З однієї сторони модель повинна бути адекватною, тобто із заданою точністю відповідати даним спостерігача, апріорній інформації про систему, фізичним законам і поставлений прикладній меті [1, 2]. З іншого боку, складність моделі мусить вирішувати питання про можливість її подальшого використання, лише від-

творюючи ті властивості об'єкту чи системи, які мають сенс, виходячи з мети та задач конкретного дослідження, а не явища взагалі. Останнє положення може бути використане для суттєвого спрощення математичних моделей, тобто для побудови математичних та комп'ютерних макромоделей. При цьому передбачається, що такі макромоделі задовольняють вимогам адекватності і, разом з тим, мають більш зручну форму чи структуру, або спрощують процес чисельної (комп'ютерної) реалізації з досяг-

ненням необхідної точності результатів [3, 4, 5]. Цей підхід є особливо важливим стосовно до розробки і функціонування автоматизованих та автоматичних систем управління технологічними процесами, об'єктами машинобудування, електронними системами, рухомими об'єктами тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед існуючих методів побудови макромоделей слід відзначити розроблені А.А. Ланне і С.А. Букашкіним методи побудови моделей у вигляді співвідношення вхід-вихід на основі розщеплення сигналів; використання рядів Вольтера-Пікара, вагомий вклад в розвиток яких зробив Л.В. Данілов; алгоритм Хо-Калмана для побудови моделей у формі лінійних дискретних рівнянь стану; узагальнений А. Ісідорі на випадок білінійних моделей; побудова математичних макромоделей компонент електротехнічних систем Козака Ю.Я., макромоделі у вигляді інтегральних операторів та рівнянь Протасова С.Ю. та ін.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Проте існуючі методи побудови математичних макромоделей не є достатньо універсальними, і вимагають використання різних методик для моделювання об'єктів різних класів [2]. Це ускладнює не тільки саму побудову моделей, а й подальше їх використання, оскільки математичні форми їх представлення також різняться. Часто при побудові та використанні засобів обчислювальної техніки для розв'язання задач аналізу і синтезу систем автоматичного регулювання, що містять в контурі ланку з розподіленими параметрами виникає необхідність комп'ютерного моделювання складних по структурі ірраціональних передатних функцій [6]. Відомий цілий ряд різних теплових, електромагнітних об'єктів і пристроїв, передатні функції яких містять  $\sqrt{s}$  в дробово-раціональній і експоненціальній залежностях [6, 7]. Зокрема, до таких об'єктів належать елементи ділянок довгих ліній із мікропроводу. Задача побудови та чисельної реалізації ефективних динамічних моделей таких об'єктів додатково ускладнюється у випадку, коли модель «вбудовується» в діючі системи керування, контролю або діагностування і повинна враховувати необхідність функціонування в реальному часі.

Таким чином, прагнення підвищити продуктивність комп'ютерних засобів, забезпечити високу точність, мінімізувати використовувані ресурси комп'ютера призводить до доцільності дослідження можливостей застосування різноманітних видів математичного опису в якості моделей елементів ділянок довгих ліній із мікропроводу. Зокрема, не повністю розв'язаною залишається проблема дослідження і використання можливостей динамічних макромоделей у вигляді передатних функцій та інтегральних рівнянь.

**Метою даної статті** є побудова адекватних і ефективних динамічних макромоделей ділянки довгої лінії з мікропроводу у вигляді передатної функції та інтегрального рівняння.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Досвід проектування та дослідження систем управління показує, що неможливо побудувати будь-яку математичну модель, адекватну реальній системі, тільки на основі теоретичних досліджень фізичних процесів у системі. Тому в процесі побудови макромоделей в якості початкових візьмемо експериментальні дані про перехідний процес (характеристику) ділянки довгої лінії з мікропроводу при температурі +20°C. Випробовувалися два зразки РС-елементів з мікропроводу згідно схеми випробувань, представленої на рис. 1.

Позначення в схемі (рис. 1):  $U$  – джерело постійної стабілізованої напруги типу УЭСВ-1;

ОП – операційний підсилювач постійного струму типу УУ-1;  $R_0$  – безреактивний резистор, 10 МОм;  $v$  – індикатор самопишучий типу Н-340;  $R_1, R_3$  – резистори з номіналом 1 МОм типу МВ СГ-1;  $R_2, R_4$  – магазини опорів типу МСР-63;  $G$  – гальванометр типу М 195/3;  $Z_x$  – досліджуваний елемент.

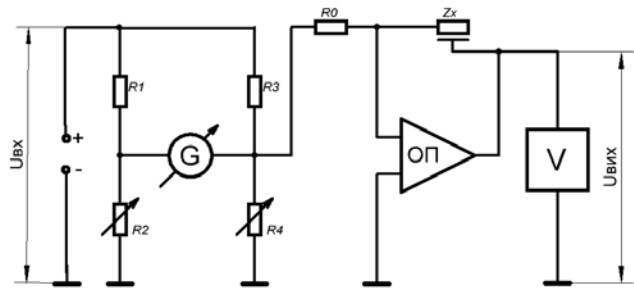


Рис. 1. Схема випробувань

Коефіцієнт ділення вхідного дільника  $R_3, R_4$  напруги підбирався так, щоб в кінці проміжного часу  $t=1000$  с. напруга на клеммах самопишучого індикатора була не більше 100 В, тобто не перевищувала максимального відхилення індикатора. Після установки допоміжним дільником  $R_3, R_4$  нульового показання гальванометра знімалася перехідна характеристика. Досліджувану лінію було розміщено в термостат. Досліди проводились при температурі  $t = +20 \pm 2^\circ \text{C}$ . Результати досліджень та виміряні значення вихідного сигналу (перехідної характеристики) приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати виміряних значень вихідного сигналу

№ зразка	$t, \text{c}$	$U, \text{В}$	$\bar{U}, \text{В}$	$ U - \bar{U}_m , \text{В}$
1	200	18,8	16,66	2,1
	400	27	23,10	1,1
	500	30,7	31,24	0,54
	600	34	35,95	1,95
	300	40,4	41,33	0,93
	1000	45,5	45,04	0,46
2	200	17,3	16,24	1,06
	400	22,1	22,45	0,35
	500	24,3	24,79	0,49
	600	26,5	26,49	0,01
	800	28,4	28,62	0,22
1000	30	29,73	0,27	

Обчислювальні експерименти проводилися за алгоритмом квадратури з вирівнюванням початкових даних методом найменших квадратів [8]. Вхідним сигналом є одиничний стрибок. Модель будується у вигляді рівняння

$$y^{(m)}(r) + \sum_{i=1}^m q_i y^{(m-i)}(r) = 1, y(r) = 10^{-2} u(r), \quad r = 10^{-3} t. \quad (1)$$

Із (1) відповідно до методу найменших квадратів для побудови моделі першого порядку маємо

$$\hat{\theta} = \sum_{i=1}^N (y(t_i) q \int_0^{t_i} y(r) dr - t_i)^2 \quad (2)$$

Звідси отримаємо

$$\frac{\partial \hat{\theta}}{\partial q} = 2 \sum_{i=1}^N [y(t_i) + q \int_0^{t_i} y(r) dr - t_i] \int_0^{t_i} y(r) dr = 0 \quad (3)$$

і

$$q = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - y(t_i)) \int_0^{t_i} y(r) dr}{\sum_{i=1}^N (\int_0^{t_i} y(r) dr)^2} \quad (4)$$

Використовуючи для обчислення інтегралів  $\int_0^t y(r)dr$  формули трапецій, знаходимо для першого і другого зразків відповідно  $q_1 = 1,8823$ ;  $q_2 = 3,22$ .

У табл. 1 наведені контрольні значення перехідного процесу

$$\bar{U}_i(t) = \frac{100}{q_i} (1 - e^{-10^{-3} q_i t}), \quad i = \overline{1,2} \quad (5)$$

а також значення помилки.

Відзначимо, що із збільшенням порядку моделей досліджуваних елементів  $|U - \bar{U}_m|$  величина спадає, тому для таких зразків можна не збільшувати порядок диференціального рівняння.

Розглянемо ту ж задачу, використовуючи як математичну модель апроксимуючу дробово-раціональну передатну функцію [6, 9].

На рис. 2 приведений графік перехідної характеристики в РС-лінії з мікропроводу отриманої експериментальним шляхом.

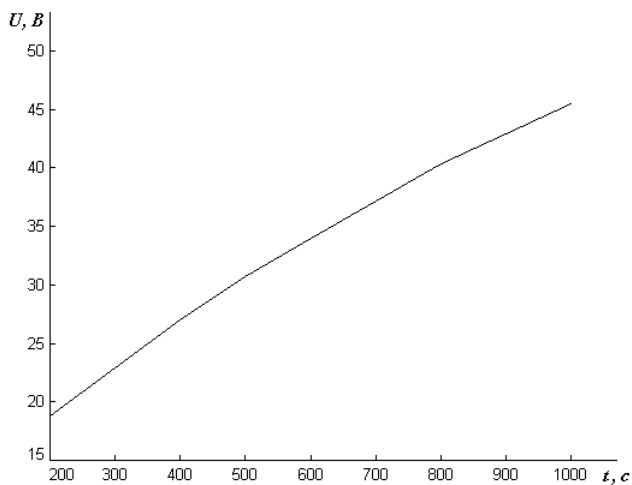


Рис. 2. Графік перехідної характеристики РС-лінії

Макромодель у вигляді передатної функції має вигляд

$$W(s) = 10,326 + \frac{0,04273}{s+0,001} + \frac{4,77 \cdot 10^{-5}}{(s+0,001)^2} - \frac{5,53 \cdot 10^{-8}}{(s+0,001)^3}, \quad (6)$$

звідки імпульсна характеристика [10] може бути представлена виразом

$$v(t) = 10,326\delta(t) + e^{-0,001t} (0,04273 + 4,77 \cdot 10^{-5}t - 2,765 \cdot 10^{-8}t^2), \quad (7)$$

а відповідна їй інтегральна макромодель записується у вигляді

$$y(t) = 10,326 \int_0^t x(r)dr + e^{-0,001t} (0,04273 + 4,77 \cdot 10^{-5}t - 2,765 \cdot 10^{-8}t^2) \int_0^t e^{0,001r} x(r)dr + + e^{-0,001t} (4,77 \cdot 10^{-5} - 5,53 \cdot 10^{-8}t) \int_0^t e^{0,001r} r x(r)dr - e^{-0,001t} 2,765 \cdot 10^{-8} \int_0^t e^{0,001r} r^2 x(r)dr.$$

У табл. 2 приведені експериментальні дані про перехідний процес в лінії, а також результати контрольного розрахунку  $\tilde{U}_w$  з похибкою ідентифікації  $\Delta U_w = |U_w - \tilde{U}|$  для математичної макромоделі у вигляді передатної функції та інтегральної макромоделі,  $\Delta U_{IE} = |U - \tilde{U}_{IE}|$  ( $h_i$  в і т о д. д а б а в і в о = 10) відповідно.

Таблиця 2

Результати ідентифікації РС-елементів мікропроводу					
$t, c$	$U, \hat{A}$	$\tilde{U}_w, \hat{A}$	$\Delta U_w, \hat{A}$	$\tilde{U}_{IE}, \hat{A}$	$\Delta U_{IE}, \hat{A}$
200	18,8	18,844	0,044	18,865	0,065
400	27	26,912	0,088	26,93	0,07
500	30,7	30,648	0,052	30,664	0,036
600	34	34,143	0,144	34,159	0,159
800	40,4	40,357	0,043	40,369	0,031
1000	45,5	45,504	0,004	45,500	0,0001

**Висновки.** Таким чином, для ділянки довгої лінії з мікропроводу, отримані з необхідною точністю математичну макромодель у вигляді дробово-раціональної передатної функції за перехідною характеристикою, одержаною експериментальним шляхом та відповідну їй інтегральну макромодель. Результати чисельної реалізації динамічних макромоделей свідчать про такі властивості, як достатньо висока стійкість, ефективність в сенсі витрат машинного часу і об'єму обчислень, простота реалізації. Розглянутий в роботі підхід макромодельовання дозволяє підвищити продуктивність комп'ютерних засобів, забезпечити високу точність, розширити можливість аналізу і синтезу ділянок довгих ліній та електричних ланцюгів.

## Список літератури:

1. Математическое описание объектов с распределенными параметрами / Р. Я. Ладиев, Ю. А. Остапенко, А. И. Ку-брак, М. З. Кваско. – Київ: КПИ, 1973. – 108 с.
2. Математическое моделирование непрерывных динамических систем / А. Ф. Верлань, С. С. Москалюк. – К.: Наукова думка, 1988. – 287 с.
3. Горошко И. О. Формирование непараметрических интегральных динамических моделей датчиков в системах измерения испытательного оборудования / И. О. Горошко, С. Ю. Протасов, А. А. Сытник // Математичне та комп'ютерне моделювання. Технічні науки / Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Кам'янець-Подільський Нац ун-т ім. Івана Огієнка: [зб. наук. пр.] / відп. ред. Ю. Г. Кривонос. – Кам'янець-Подільський: Вид-во Кам'янець-Подільський Нац ун-т ім. Івана Огієнка, 2012. – Вип. 6. – С. 49-58.
4. Протасов С. Ю. Інтегральні макромоделі об'єктів із розподіленими параметрами / С. Ю. Протасов // Обробка сигналів і негауссівських процесів: III Міжнародна науково-практична конференція присвячена пам'яті професора Ю. П. Кунченка, 24-27 травня 2011 р.: тези допов. – Черкаси: ЧДТУ, 2011. – С. 60-61.
5. Ситник О. О. Інтегральні макромоделі динамічних об'єктів / Ситник О. О., Федорчук В. А., Протасов С. Ю. // Математичне та комп'ютерне моделювання. Технічні науки: / Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Кам'янець-Подільський Нац ун-т ім. Івана Огієнка: [зб. наук. пр.] / відп. ред. Ю. Г. Кривонос. – Кам'янець-Подільський: Вид-во Кам'янець-Подільський Нац ун-т ім. Івана Огієнка, 2013. – Вип. 8. – С. 98-109.
6. Іванюк В. А. Інтегральні моделі ірраціональних та трансцендентних ланок // В. А. Іванюк, В. О. Тихоход, С. Ю. Протасов // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки: зб. наук. праць / Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Кам'янець-Подільський Нац університет ім. Івана Огієнка / – Кам'янець-Подільський: Вид-во Кам'янець-Подільський Нац університет ім. Івана Огієнка, 2011. – Вип. 5. – С. 90-99.
7. Протасов С. Ю. Метод определения связи между параметрами дробного инерционного звена и элементов длинных линий / С. Ю. Протасов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2014. – № 4. – С. 42-45.
8. Верлань Д. А. Некоторые особенности численной реализации нелинейных интегральных моделей динамических объектов / Д. А. Верлань, С. Ю. Протасов. // Математичне та комп'ютерне моделювання. Технічні науки: / Ін-т.

- кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Кам'янець-Подільський Нац. ун-т ім. Івана Огієнка: [зб. наук. пр.] / відп. ред. Ю. Г. Кривонос. – Кам'янець-Подільський: Вид-во Кам'янець-Подільський Нац. ун-т ім. Івана Огієнка, 2014. – Вип. 10. – С. 36–44.
9. Ситник О. О. Інтерполяційний метод отримання передатної функції по перехідній характеристиці при формуванні ядер інтегральних макромоделей / О. О. Ситник, С. Ю. Протасов // Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації: VI Міжнародна наук.-практ. конф., 4-5 квітня 2014 р.: тези допов. – Кам'янець Подільський: Кам'янець Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2014. – С. 149-152.
10. Ситник О. О. Метод визначення імпульсної реакції динамічної ланки з періодичнозмінними параметрами / Ситник О. О., Протасов С. Ю. // Вісник Черкаського державного технологічного університету, 2013. – № 4. – С. 63-66.

**Протасов С.Ю.**

Черкасский государственный технологический университет

## ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МАКРОМОДЕЛЕЙ УЧАСТКОВ ДЛИННЫХ ЛИНИЙ ИЗ МИКРОПРОВОДА

### Аннотация

Статья посвящена построению макромоделей участков длинных линий с микропровода, которые относятся к сложным динамическим объектам с разделенными параметрами. Согласно натурного эксперимента за схемой испытаний, получено выходные данные о переходном процессе в RC-линии. По экспериментально полученной переходной характеристикой построены динамические макромодели в виде дробно-рациональной передаточной функции и интегрального уравнения. Актуальность метода макромоделирования в данной работе подтверждают результаты вычислительных экспериментов, которые свидетельствуют об эффективности полученных макромоделей. Таким образом, данный подход позволяет расширить возможности современных компьютерных средств проведения научных и инженерных расчетов в задачах анализа и синтеза участков длинных линий и электрических цепей.

**Ключевые слова:** динамическая макромодель, передаточная функция, переходная характеристика, длинная линия, микропровод.

**Protasov S.Yu.**

Cherkasy State Technological University

## BUILDING DYNAMIC MACROMODEL PLOTS WITH LONG LINES OF MICROWIRE

### Summary

Article is devoted to building macromodels plots with long lines of microwire. According to the experiment scheme tests obtained baseline data on the transition process in the RC-line. For transient characteristics obtained experimentally based dynamic macromodel as fractional rational transfer functions and integral equations. Urgency macromodelling method in this study confirms the results of computational experiments that demonstrate the effectiveness of macromodels obtained. Thus, this approach allows us to expand the capabilities of modern computer tools of scientific and engineering calculations in problems of analysis and synthesis areas of long lines and electrical circuits.

**Keywords:** dynamic macromodel, the transfer function, transient response, long line, microwire.