



- [6] ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ. Захист інформації. Технічний захист інформації. Основні положення. ДСТУ 3396.0–96.
- [7] ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ 3396.2–97 . Захист інформації, технічний захист інформації, терміни та визначення.
- [8] Закон України “Про електронні документи та електронний документообіг” від 22.05. 2003 р. №851–IV.
- [9] Закон України “Про електронний підпис” від 22.05. 2003 р. № 852–IV.
- [10] Антонюк А.О. Основи захисту інформації в автоматизованих системах/ А.О. Антонюк. – К.: КМ Академія, 2006. – 244 с.
- [11] Вербіцький О.В. Вступ до криптології/ О. В. Вербіцький. – Львів: Вид-во НТЛ, 2008. – 248 с.
- [12] Герасименко В. А. Основи защиты информации/ В. А. Герасименко. – М.: Инкомбук, 1997. – 537 с.
- [13] Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. Методы создания систем защиты/ В. Домарев. – К.: ТИД ДС, 2001. – 688 с.
- [14] Закон України «Про інформацію». – К.: Відомості Верховної Ради України, 1992. – N 48. – Ст.650 .
- [15] Медведовский И.Д. Атака на Internet/ И.Д. Медведовский, П.В., Семьянов, Д. Г. Леонов. – М.: ДМК, 1999. – 336 с.
- [16] W. Diffie, M.E. Hellman. New Directions in cryptography// IEEE Trans. Inform. Theory, IT-22, vol 6 (Nov. 1976), pp. 644-654.
- [17] У. Диффи. Первые десять лет криптографии с открытым ключом /пер. с англ./ М., Мир, ТИИЭР.–1988.–т.76.–N5.
- [18] Касперски К. Атака на Windows NT. // LAN / Журнал сетевых решений. 2015, декабрь, С. 88 - 95.

### References

- [1] B. Schneier. *Prikladnaia kriptografiya*. 2-nd ed. Moscow, Triumph, 2012, 816 p.
- [2] Schneider Electric. *Zashchita sistemy ot kiberatak*, no. 36, 2011, 277 p.
- [3] N. A. Moldovyan, “Workshop on public key cryptosystems,” SPb. BHV-Petersburg, 2007, 304 p.
- [4] N. Smart, *Cryptography*, Moscow, 2005, 528 p.
- [5] Koblitz N. *The course of number theory and cryptography*. Moscow, 2011, 254 p.
- [6] Derzhavnyi standart Ukrainy. zahist informatsiyi. Tehnichniy zahist informatsiyi. Osnovni polozhennya. DSTU 3396.0–96.
- [7] Derzhavnyi standart Ukrainy. Zahist informatsiyi 3396.2–97 . Zahist informatsiyi, tehnichniy zahist informatsiyi, termini ta viznachennya.
- [8] Zakon Ukrainy “Pro elektronni dokumenti ta elektronniy dokumentoobig” 22 May, 2003, no. 851–IV.
- [9] Zakon Ukrainy “Pro elektronniy pidpis” , 22 May, 2003, no. 852–IV.
- [10] A.O. Antoniuk, “Osnovi zahistu Informatsiyi v avtomatizovanih sistemah,” Kyiv, KM AkademIya, 2006, 244 p.
- [11] O.V. Verbitskiy, “Vstup do kriptologiyi,” LvIv, NTL, 2008, 248 p.
- [12] V. A. Gerasimenko, “Osnovni zaschityi informatsii,” Moscow, Inkombuk, 1997, 537 p.
- [13] V. V. Domarev, “Bezopasnost informatsionnyih tehnologiy. Metodyi sozdaniya sistem zaschityi,” Kyiv, TID DS, 2001, 688 p.
- [14] Zakon Ukrainy “Pro InformatsIyu,” Kyiv, vidomosti Verhovnoyi Rady Ukrainy, 1992, no. 48, 650 p.
- [15] I. D. Medvedovskiy, P.V., Semyanov, D. G. Leonov “Ataka na Internet,” Moscow, DMK, 1999, 336 p.
- [16] W. Diffie, M.E. Hellman. New Directions in cryptography// IEEE Trans. Inform. Theory, IT-22, vol 6 (Nov. 1976), pp. 644-654.
- [17] W. Diffie. First 10 years of cryptography with open key. Trans. eng., Moscow, Mir, 1988, vol.76, no.5.
- [18] K. Kasperski. Ataka na Windows NT. LAN. Zhurnal setevykh reshenii, Dec. 2015, pp. 88-95.

УДК 681.5.033.3

## ПРИКЛАДИ АНАЛІЗУ СТАЛИХ ПРОЦЕСІВ В САР ЗАСОБАМИ МАТЛАВ

Левінський М.В.<sup>1</sup>, Левінський В.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса, Україна

<sup>2</sup> Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, Україна

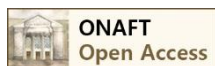
ORCID: <sup>1</sup> 0000-0002-6544-5110, <sup>2</sup> 0000-0002-3563-528X

E-mail: <sup>1</sup> MaxLevinskyi@gmail.com, <sup>2</sup> ValeryLevinskyi@gmail.com

Copyright © 2020 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i2.1810>



**Анотація.** Актуальність. Ідентифікація каналу контрольованих збурень залишається актуальною задачею при побудові САР, які забезпечують високу динамічну точність стабілізації регульованої змінної. Ця задача потребує крім знань з теорії випадкових процесів також і навиків застосування сучасних пакетів програм MATLAB, що забезпечують аналіз і синтез систем керування.

**Мета.** Навести приклади застосування пакетів Signal Processing Toolbox та System Identification Toolbox в учбовій задачі ідентифікації динамічних властивостей каналу контрольованих збурень тестового об'єкту керування та виявити вплив на точність визначення параметрів моделі діапазону їх змін, а також інтенсивності та спектрального складу неконтрольованих збурень.

**Метод.** В якості методу дослідження обрано моделювання тестового об'єкту керування в середовищі Simulink.

**Результати.** Наведено експериментальні дані, які характеризують вплив на точність ідентифікації параметрів тестового об'єкту керування зміни його часу запізнення, а також спектрального складу неконтрольованих збурень.

**Висновки.** При відсутності неконтрольованих збурень зміна часу запізнення тестового об'єкту керування не суттєво впливає на точність ідентифікації параметрів його моделі. Ця точність в більшій мірі залежить від інтенсивності неконтрольованих збурень, ніж від їх спектрального складу. В цілому пакети програм Signal Processing Toolbox та System Identification Toolbox можуть бути рекомендовані для підготовки спеціалістів з автоматизації виробничих процесів в отриманні навичок з аналізу сталих процесів в САР.

**Abstract.** Topicality. Controlled disturbances channel identification remains topical problem when building ACS which provide high dynamic accuracy of controlled variable stabilization. This task requires knowledge of stochastic processes theory as well as utilization of MATLAB modern program packages, which provide analysis and synthesis of control systems.

**Goal.** To provide examples of using such packages as Signal Processing Toolbox and System Identification Toolbox in the task of test control object's controlled disturbances channel's dynamic characteristics identification and establish an influence on accuracy of model parameters estimation and range of their change and also intensity and spectral composition of non-controllable disturbances.

**Means.** Test control object modelling in Simulink environment was chosen as means of research.

**Results.** Experimental data is provided which characterize the control object delay time change influence on its parameters identification accuracy as well as influence of varying spectral composition of non-controllable disturbances.

**Conclusions.** If non-controllable disturbances are absent, test control object delay time change does not significantly affect the accuracy of identification of its model parameters. This accuracy depends more on the intensity of non-controllable disturbances than on its spectral composition. In general, software packages Signal Processing Toolbox and System Identification Toolbox can be recommended for training of specialists in automatic control for acquisition of skills in steady state processes analysis.

**Ключові слова:** пакети програм MATLAB, канал контрольованих збурень, ідентифікація параметрів.

**Keywords:** MATLAB software packages, controlled perturbation channel, parameter identification.

## 1. Вступ

Велика кількість незалежних одне від одного зовнішніх збурень, що діють на об'єкт керування (ОК), проявляється в системі автоматичного регулювання (САР) у вигляді випадкових змін регульованої змінної. Тому при складанні моделей ОК та оцінці якості регулювання ці зміни часто представляють у вигляді квазістаціонарного випадкового процесу, для якого необхідно визначити структуру і параметри його імовірнісних характеристик. Ця задача характерна для сталих режимів функціонування САР.

У випадку, коли в системі можна виділити контрольоване збурення  $f_k(t)$ , яке суттєво впливає на регульовану змінну  $y(t)$ , доцільно визначити динамічні властивості цього каналу ОК, що дозволить обчислити модель коригуючого зв'язку  $W^c(s)$  та в результаті покращити якість регулювання. Фактично виникає задача ідентифікації передатної функції

$W_{f_k y}^o(s)$  (див. рис. 1).

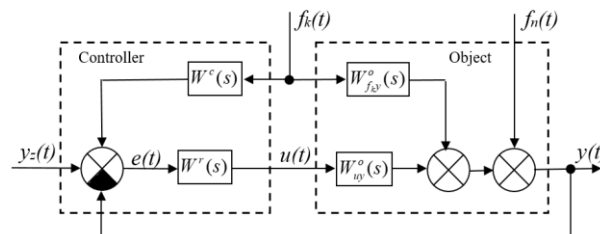


Рис. 1. Структурна схема САР

На відміну від керуючої дії  $u(t)$ , цілеспрямовано змінити  $f_k(t)$  часто неможливо, тому модель  $W_{f_k y}^o(s)$  визначають на основі даних пасивного експерименту [1, 2]. Очевидно, що адекватність цієї моделі буде залежати від інтенсивності та спектрального складу неконтрольованих збурень  $f_n(t)$ . Сам експеримент проводять при розімкнутому зворотному зв'язку в САР, аби уникнути впливу її власного руху на регульовану змінну  $y(t)$ .



## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Для аналізу і обробки змінних в САР доцільно використовувати алгоритми пакету інструментів Signal Processing Toolbox середовища MATLAB [3, 4]. За допомогою пакету можна візуалізувати сигнали в часовій і частотній області, проектувати фільтри, виконувати згортку, модуляцію і інші методи обробки сигналів. Ключовим для розуміння характеристик сигналу є аналіз його спектру. Пакет надає функції для оцінки спектральної щільності потужності, середньоквадратичного спектра, псевдоспектра і середньої потужності сигналів.

Пакет Matlab System Identification Toolbox орієнтований на вирішення завдань ідентифікації в САР. За допомогою пакета по часовим або частотним вхідним і вихідним експериментальним даним можна оперативнo ідентифікувати безперервні і дискретні передатні функції, описувати поведінку динамічних систем в просторі станів, визначати структуру і порядок моделі, виконувати оцінку її параметрів та перевіряти достовірність [5].

Даний пакет працює з моделями процесів у вигляді передатних функцій  $W(s) = K \exp(-\tau s)/(1+Ts)$ ,  $W(s) = K(1+T_1s)/(1+T_2s)$ ,  $W(s) = K/s(1+Ts)$ , зі спектральними та кореляційними моделями, а також з нелінійними моделями.

На жаль, недостатня кількість прикладів використання вказаних пакетів стримують їх впровадження як в учбових, так і в промислових задачах.

## 3. Мета і завдання дослідження:

навести приклади застосування пакетів Signal Processing Toolbox та System Identification Toolbox в учбовій задачі ідентифікації динамічних властивостей каналу контрольованих збурень тестового об'єкту керування та виявити вплив на точність визначення параметрів моделі діапазону їх змін, а також інтенсивності та спектрального складу неконтрольованих збурень.

## 4. Методи і матеріали досліджень

4.1 В якості методу дослідження обрано моделювання тестового ОК в середовищі Simulink [6]. Передатна функція каналу  $f_k(t) - y(t)$   $W_{fk}(s) = K_o \exp(\tau_o s)/(T_o s + 1)^2$ , контрольовані і неконтрольовані збурення сформовані від генератора псевдобілого шуму формуючими фільтрами з передатними функціями  $W_{fk}(s) = 1/(T_{fk}s + 1)^2$  та  $W_{fn}(s) = 1/(T_{fn}s + 1)^2$  (див. рис. 2). Змінні  $f_k(t)$ ,  $y(t)$  за результатами моделювання передавались в робочу область MATLAB.

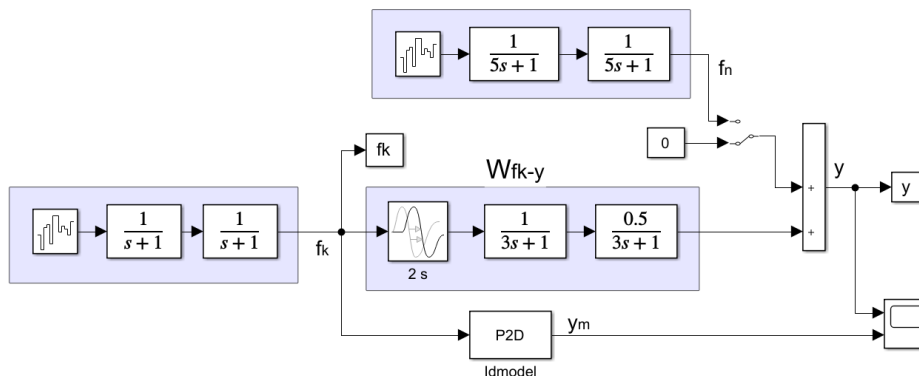


Рис. 2 Схема моделювання тестового ОК в Simulink

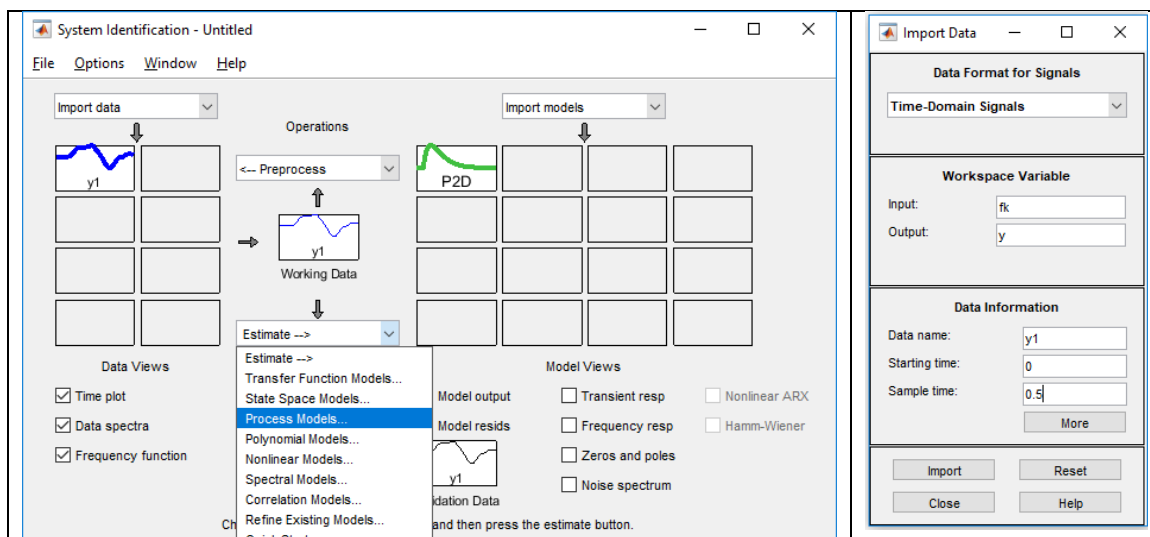


Рис. 3 Приклад імпорту змінних  $f_k(t)$ ,  $y(t)$  в пакет System Identification



Звідті вони імпортувались в пакет System Identification (див. рис. 3), функціонал якого дозволяє отримати реалізації цих змінних, їх спектри, а також амплітудо- і фазочастотні характеристики каналу (див. рис. 4).

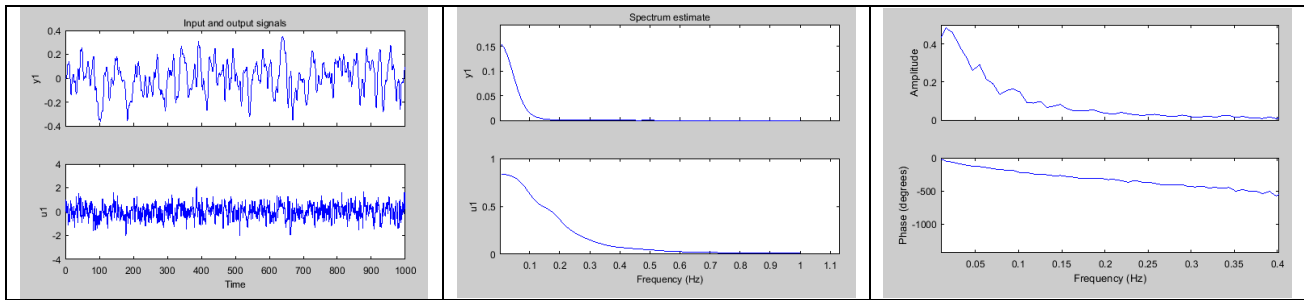


Рис. 4 Приклад графіків змінних  $f_k(t)$ ,  $y(t)$  для їх подальшого аналізу

Попередній аналіз графіків рис. 4 дозволяє провести структурну ідентифікацію моделі каналу  $f_k(t) - y(t)$  за ознаками, які наведені, наприклад, в [7]. Після вибору структури автоматично обраховуються параметри моделі.

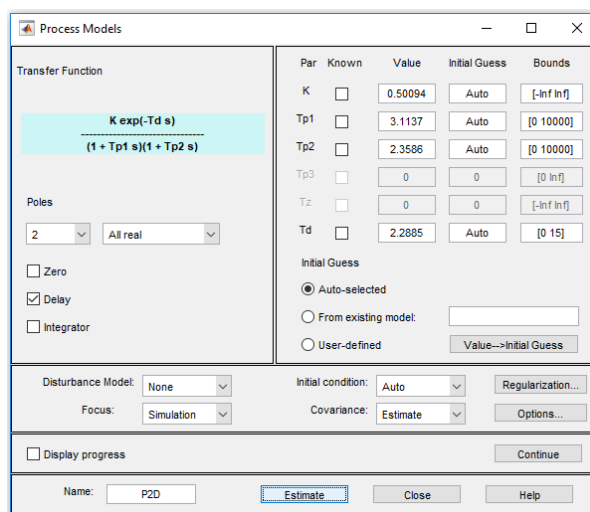


Рис. 5 Приклад результатів ідентифікації моделі каналу контрольованих збурень  $f_k(t) - y(t)$

Отриману модель з ім'ям P2D можна експортувати в Simulink в блок Idmodel (див. рис. 2) та провести порівняння реалізацій тестового ОК та його моделі.

4.2 Властивості окремої змінної в SAP, наприклад, контрольованого збурення  $f_k(t)$ , можна також оцінити завдяки використанню пакету SPTool. При імпорті змінної в пакет слід вказати її ім'я та частоту дискретизації. На рис. 6 частота дискретизації (Sampling Frequency) становить  $F_s=1/T_s=2$  Гц.

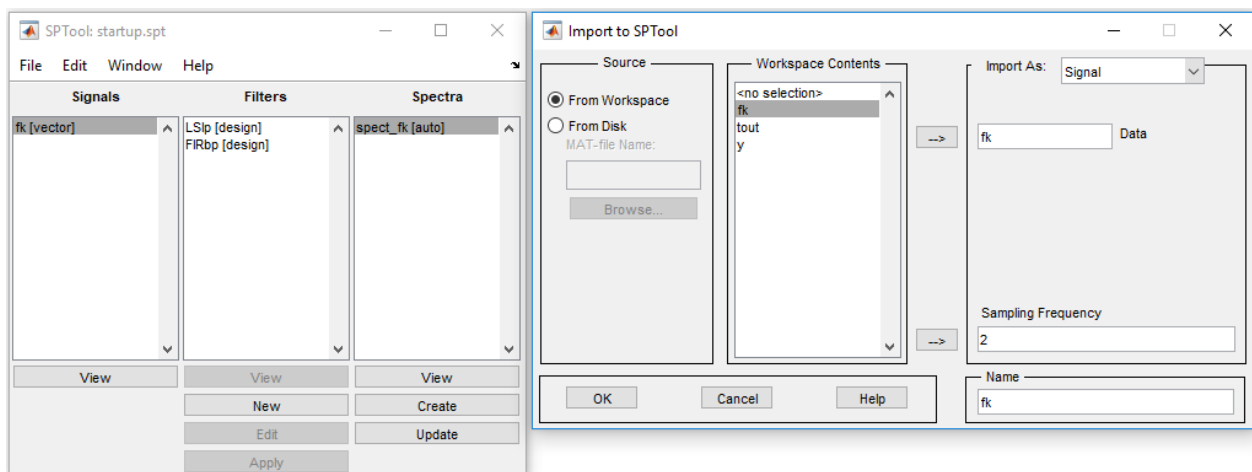


Рис. 6 Приклад імпорту змінної  $f_k(t)$  в пакет SPTool



Функціонал пакету дозволяє отримати графік змінної  $f_k(t)$ , його статистику, в тому числі оцінку середньоквадратичного відхилення RMS, а також графіки спектральної щільності потужності з різними методами усереднення.

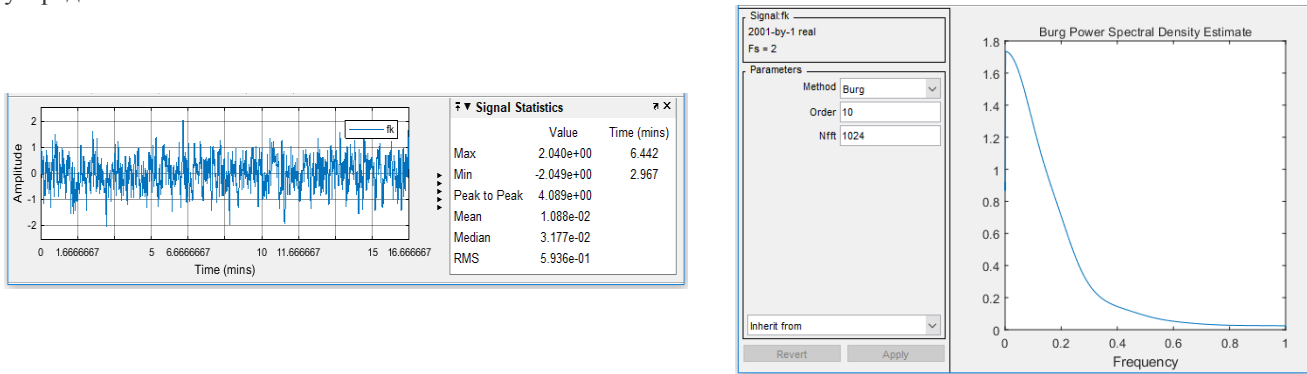


Рис. 7 Приклад оцінки властивостей змінної  $f_k(t)$  в пакет SPTool

### 5. Результати досліджень

5.1 Для ідеалізованих умов, тобто при відсутності впливу на тестовий ОК неконтрольованих збурень, проведені експерименти, в яких змінювалось значення часу запізнення  $\tau_o$  ОК і здійснювалась ідентифікація параметрів його моделі по каналу контрольованих збурень  $f_k(t) - y(t)$ . Результати експериментів зведені в табл. 1.

Табл. 1. Вплив часу запізнення  $\tau_o$  тестового ОК на параметри його моделі

$\tau_o$ var, c	0,75	1,5	3,0	6,0	
$\tau_m$ , c	1,02	1,79	3,29	6,29	
$K_m$	0,5	0,5	0,5	0,5	$K_o=0,5$
$T_{m1}$ , c	2,76	3,11	3,11	2,36	$T_{o1}=3$ c
$T_{m2}$ , c	2,72	2,36	2,36	3,11	$T_{o2}=3$ c

Найбільша відносна похибка в визначенні запізнення  $\tau_m$  склала 36%, найбільша відносна похибка в визначенні постійної часу  $T_m$  склала 21%. Коефіцієнт передачі  $K_m$  у всіх випадках визначався точно.

5.2 Визначення впливу неконтрольованого збурення  $f_n(t)$  на параметри моделі ОК при ідентифікації параметрів його моделі по каналу контрольованих збурень  $f_k(t) - y(t)$  проводилося для двох варіантів спектрального складу  $f_n(t)$ . Для цього при моделюванні  $f_n(t)$  постійна часу формуючого фільтру встановлювалась на значення  $T_{fk}=1$  c;  $T_{fk}=10$  c. Результати експериментів зведені в табл. 2.

Найбільша відносна похибка в визначенні запізнення  $\tau_m$  склала 25%, найбільша відносна похибка в визначенні постійної часу  $T_m$  склала 50%. Відносна похибка при визначенні коефіцієнта передачі  $K_m$  склала 10%. Додаткові експерименти показали, що точність ідентифікації параметрів в більшій мірі залежить не від спектрального складу неконтрольованих збурень  $f_n(t)$ , а від їх інтенсивності (значення RMS).

Табл. 2. Вплив неконтрольованого збурення  $f_n(t)$  на параметри моделі ОК

Графіки $f_n(t)$	Параметри моделі	
	Параметри ОК	Параметри моделі
	$K_o=0,5$ $T_{o1}=3$ c $T_{o2}=3$ c $\tau_o=1,5$ c	$K_m=0,51$ $T_{m1}=4,18$ c $T_{m2}=1,49$ c $\tau_m=1,88$ c
		$K_m=0,51$ $T_{m1}=3,66$ c $T_{m2}=1,95$ c $\tau_m=1,8$ c

### 6. Обговорення результатів

Наведені результати експериментів дають змогу стверджувати, що за рівнем точності отриманих параметрів моделі, наочності та трудовитрат вказані пакети програм можуть бути рекомендовані для використання в учбових задачах. Застосування цих пакетів для вирішення задач ідентифікації об'єктів в промисловості потребує більш детального їх вивчення.



При моделюванні САР в середовищі Simulink слід вибирати крок квантування за часом не менше 0,1 с, оскільки сучасні промислові контролери, в основному, не в змозі забезпечити менший крок квантування. Вибір частоти зрізу формуючого фільтру для контрольованих збурень  $f_i(t)$  слід узгоджувати з діапазоном частот власного руху САР. Детальніше це питання викладене, наприклад, в [8].

## 7. Висновки

При відсутності неконтрольованих збурень зміна часу запізнення тестового об'єкту керування не суттєво впливає на точність ідентифікації параметрів його моделі.

Ця точність в більшій мірі залежить від інтенсивності неконтрольованих збурень, ніж від їх спектрального складу.

В цілому пакети програм Signal Processing Toolbox та System Identification Toolbox можуть бути рекомендовані для підготовки спеціалістів з автоматизації виробничих процесів в отриманні навичок з аналізу сталих процесів в САР.

## Список використаних джерел

- [1] Isermann R, Munchhof M. Identification of Dynamic Systems. Berlin: Springer, 2011. 710 p.
- [2] Хобин В.А. Системы гарантирующего управления технологическими агрегатами: основы теории, практика применения. Одесса: ТЭС, 2008. 306 с.
- [3] Signal Processing Toolbox User's Guide. Natick: MathWorks Inc., 2001. 800 p.
- [4] Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб: Питер, 2006. 751 с.
- [5] Ljung L. System Identification Toolbox™ Getting Started Guide. Natick: MathWorks Inc., 2015. 531 p.
- [6] Дьяконов В. Simulink 5/6/7: Самоучитель. Москва: ДМК-Пресс, 2008. 784 с.
- [7] Жигайло А.М., Хобин В.А. Расширение метода типовой статистической идентификации на модели объектов с запаздыванием. Одесса. *Автоматизация технологических и бизнес-процессов*. 2011. №5. С. 3-14.
- [8] Хобин В.А., Левінський В.М. Адаптивне керування об'єктами технологічного типу: алгоритми пасивного самоналагодження коефіцієнту передачі регуляторів. Одеса: Гельветика, 2019. 228 с.

## References

- [1] Isermann R, Munchhof M. Identification of Dynamic Systems. Berlin: Springer, 2011. 710 p.
- [2] Khobin V.A. Sistemyi garantiruyuschego upravleniya tehnologicheskimi agregatami: osnovyi teorii, praktika primeneniya. Odessa: TES, 2008. 306 p.
- [3] Signal Processing Toolbox User's Guide. Natick: MathWorks Inc., 2001. 800 p.
- [4] Sergienko A.B. Tsifrovaya obrabotka signalov. SPb: Piter, 2006. 751 p.
- [5] Ljung L. System Identification Toolbox™ Getting Started Guide. Natick: MathWorks Inc., 2015. 531 p.
- [6] Dyakonov V. Simulink 5/6/7: Samouchitel. Moskva: DMK-Press, 2008. 784 p.
- [7] Zhigaylo A.M., Hobin V.A. Rasshirenie metoda tipovoy statisticheskoy identifikatsii na modeli ob'ektov s zapazdyivaniem. Odessa. *Avtomatizatsiya tehnologicheskikh i biznes-protseessov*. 2011. No.5, pp. 3-14.
- [8] KhobIn V.A., LevInskiy V.M. Adaptivne keruvannya ob'Ektami tehnologIchnogo tipu: algoritmi pasivnogo samonalagodzhennya koefltsIEntu peredachI regulyatorIv. Odesa: Gelvetika, 2019, 228 p.