

*І. П. АТАМАНЮК*, д-р техн. наук, доц., Миколаївський національний аграрний університет, Миколаїв;

*Ю. В. ВОЛОСЮК*, канд. техн. наук, доц., Миколаївська філія Європейського університету

## **МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ АПАРАТУ КАНОНІЧНИХ РОЗКЛАДАНЬ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ**

Запропоновано метод прогнозування споживання електроенергії на основі апарату канонічних розкладань випадкових процесів. Метод повністю враховує особливості процесу споживання електроенергії (нестационарність, значна післядія, наявність нелінійних стохастичних зв'язків), що дозволяє підвищити якість вирішення задачі прогнозування. Результати чисельного експерименту на основі статистичних даних підтвердили високу ефективність запропонованого методу.

**Ключові слова:** споживання електроенергії, прогнозування, випадковий процес, канонічне розкладання, середній квадрат похибки екстраполяції

**Вступ.** Електроенергетична система – це складний технічний комплекс, що представляє собою сукупність з'єднаних між собою електричних мереж, електростанцій та приймачів електричної енергії, що функціонують у спільному режимі. Основною метою електроенергетичної системи є надійне електропостачання споживачів і при цьому ефективність її функціонування визначається якістю технічного та організаційного управління, яке повинно забезпечувати оптимальність режимів роботи системи.

Особливістю електроенергетичних систем, що відрізняє їх від інших складних об'єктів контролю та управління, є неможливість зберігання виробленого ними продукту – електричної енергії. Це означає, що режим роботи електроенергетичної системи повинен вибиратися таким чином, щоб виробництво електроенергії в точності відповідало її споживанню (з урахуванням різного роду втрат). Порушення цього балансу в ту чи іншу сторону веде до зниження якості функціонування електроенергетичної системи. Так, при нестачі виробництва електроенергії деякі споживачі або не отримають її взагалі, або отримають з якістю нижче необхідного рівня, що спричинить штрафні санкції та фінансові збитки. У випадку надлишку виробництва електроенергії буде мати місце перевитрата використаного на її виробництво палива, що також є економічно не вигідним. Таким чином, для ефективної роботи електроенергетичної системи однією з найбільш важливих завдань є максимально точно прогнозування споживання електроенергії споживачами в майбутні моменти часу.

Особливістю процесу зміни споживання електроенергії є стохастичний характер. Основними факторами, вплив яких обумовлює приналежність електроенергетичних систем до об'єктів з випадково змінними умовами функціонування, є наступні: тип дня тижня (робочий, вихідний, святковий); погодні умови (температура повітря, дощ, туман, сніг); залежність від часу доби; тривалість світлового дня.

Таким чином, враховуючи особливості функціонування електроенергетичних систем, для вирішення задачі прогнозування споживання електроенергії необхідно застосовувати методи теорії випадкових процесів.

Відомо, що найбільш загальною екстраполяційною формою для розв'язання задач прогнозування є математична модель у вигляді поліному Колмогорова–Габоора [1]. Така модель дозволяє враховувати довільне число вимірювань випадкового процесу та порядок степеневі нелінійності. Проте її практичне застосування обмежене істотними труднощами, пов'язаними з формуванням великої кількості рівнянь для визначення параметрів екстраполятора. Існуючі оптимальні методи, що використовуються для розв'язання прикладних задач, отримані для певних класів випадкових процесів (методи А.Н. Колмогорова [2] і Н. Вінера [3] – для стаціонарного процесу з дискретним аргументом, фільтр–екстраполятор Калмана [4] – для марковських випадкових процесів, методи В.С. Пугачова [5], В.Д. Кудрицького [6] – для нестационарних гаусівських процесів та ін.), тому їх застосування дозволяє отримувати оптимальні результати тільки для процесів з певними апріорно відомими характеристиками.

**Мета роботи.** Метою статті є розробка методу прогнозування процесу споживання електроенергії, що не накладає жодних суттєвих обмежень на стохастичний процес, що досліджується.

**Метод прогнозування спожива електроенергії.** Найбільш універсальною прогнозною моделлю з точки зору обмежень, що накладаються на процес, є поліноміальний степеневий екстраполятор [7-9]:

$$m_x^{(\mu,l)}(h,i) = \begin{cases} M[X^h(i)] \text{ при } \mu=0; \\ m_x^{(\mu,l-1)}(h,i) + (x^l(\mu) - m_x^{(\mu,l-1)}(l,\mu))\beta_{h\mu}^{(l)}(i) & l \neq \\ m_x^{(\mu-1,N)}(h,i) + (x^l(\mu) - m_x^{(\mu-1,N)}(l,\mu))\beta_{h\mu}^{(l)}(i) & l = \end{cases} \quad (1)$$

Параметрами алгоритму (1) є елементи канонічного розкладання [10,11] випадкового процесу  $X(t)$ , що вимірюється в дискретному ряді точок  $t, i = \overline{1, I}$ :

$$X(i) = M[X(i)] + \sum_{v=1}^i \sum_{\lambda=1}^N W_v^{(\lambda)} \beta_{1v}^{(\lambda)}(i), \quad i = \overline{1, I}. \quad (2)$$

Елементи  $W_v^{(\lambda)}, \beta_{hv}^{(\lambda)}(i)$  представлення (2) процесу  $X(t)$  визначаються співвідношеннями:

$$W_v^{(\lambda)} = X^\lambda(v) - M[X^\lambda(v)] - \sum_{\mu=1}^{v-1} \sum_{j=1}^N W_\mu^{(j)} \beta_{\lambda\mu}^{(j)}(v) - \sum_{j=1}^{\lambda-1} W_v^{(j)} \beta_{\lambda v}^{(j)}(v), \quad \lambda = \overline{1, N}, v = \overline{1, I}; \quad (3)$$

$$\beta_{hv}^{(\lambda)}(i) = \frac{1}{D_\lambda(v)} \{ M[X^\lambda(v) X^h(i)] - M[X^\lambda(v)] M[X^h(i)] - \sum_{\mu=1}^{v-1} \sum_{j=1}^N D_j(\mu) \beta_{\lambda\mu}^{(j)}(v) \beta_{h\mu}^{(j)}(i) - \sum_{j=1}^{\lambda-1} D_j(v) \beta_{\lambda v}^{(j)}(v) \beta_{hv}^{(j)}(i) \}, \quad \lambda = \overline{1, h}, v = \overline{1, i}, h = \overline{1, N}, i = \overline{1, I}. \quad (4)$$

$$D_{\lambda}(v) = M[X^{2\lambda}(v)] - M^2[X^{\lambda}(v)] - \sum_{\mu=1}^{v-1} \sum_{j=1}^N D_j(\mu) \{\beta_{\lambda\mu}^{(j)}(v)\}^2 - \sum_{j=1}^{\lambda-1} D_j(v) \{\beta_{\lambda v}^{(j)}(v)\}^2, \lambda = \overline{1, N}, v = \overline{1, I}. \quad (5)$$

Блок-схема алгоритму обчислення параметрів екстраполятора (1) представлена на рис. 1.

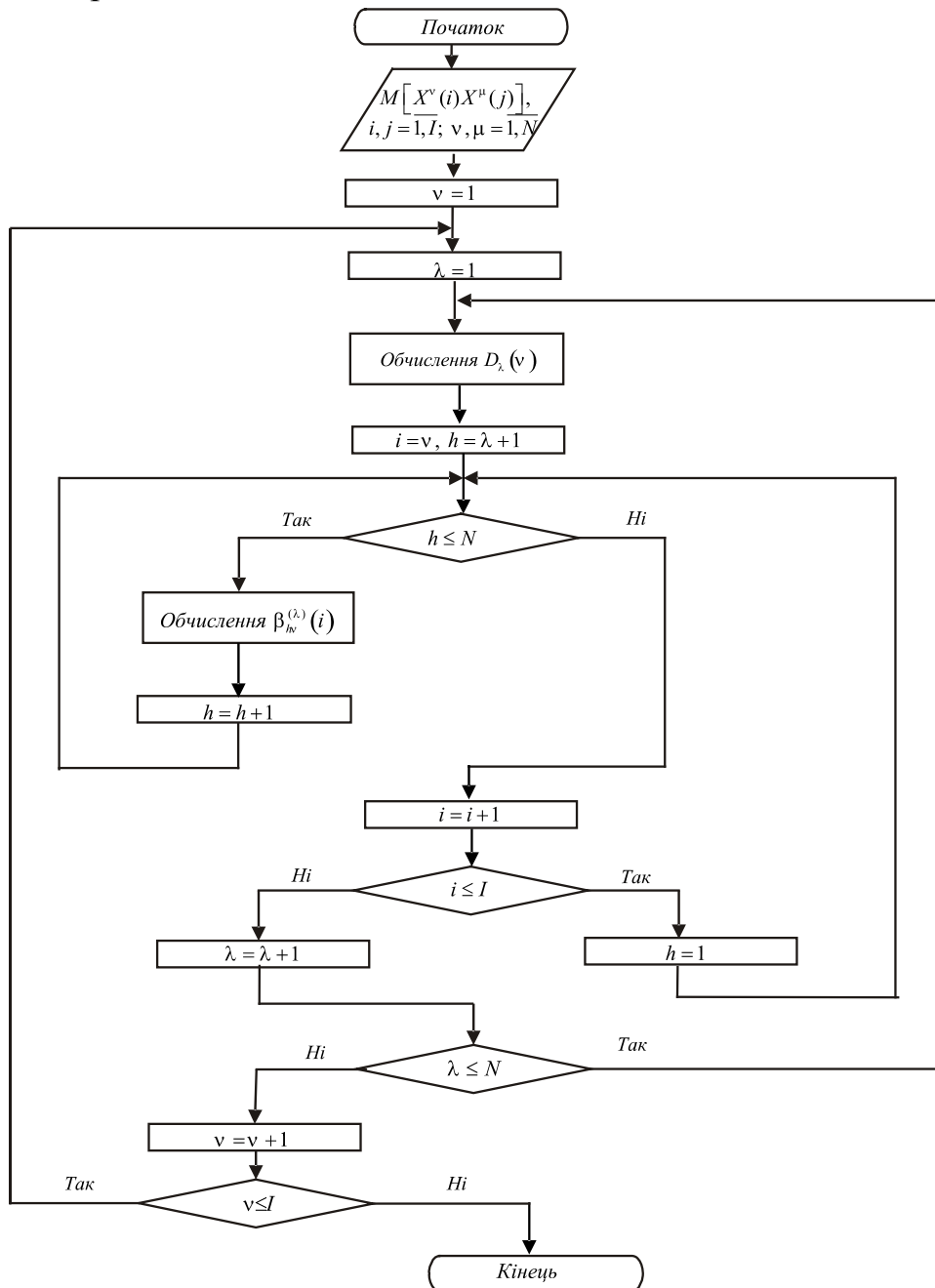


Рис. 1 – Блок-схема алгоритму обчислення параметрів екстраполятора (1)

Прогнозна модель (1) дозволяє врахувати довільну кількість точок дискретизації та нелінійні зв'язки між ними і є досить простою для реалізації, блок-схема функціонування моделі представлена на рис. 2.

Змістом запропонованого методу прогнозування обсягу споживання електроенергії на основі поліноміальної степеневі моделі (1) є реалізація наступних етапів:

Етап 1. Збір статистичних даних про постачання електроенергії за фіксований період часу для визначеної електроенергетичної системи і обчислення на їх основі дискретизованих моментних функцій  $M[X^\lambda(v)X^h(i)]$ ;

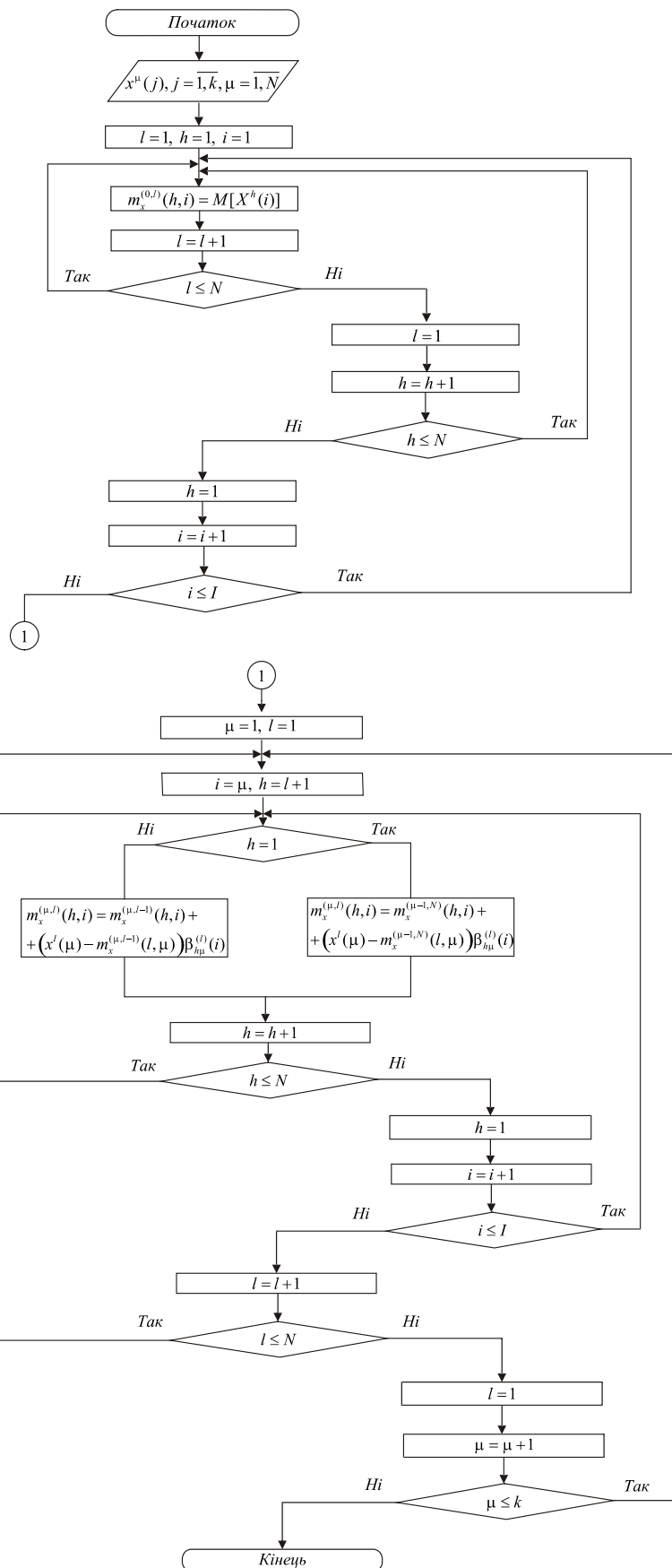


Рис. 2 – Блок-схема алгоритму функціонування екстраполятора (1)

Етап 2. Формування канонічного розкладання (2) випадкового процесу, що досліджується;

Етап 3. Визначення на основі відомої апостеріорної інформації за допомогою прогнозної моделі (1) майбутніх значень використання електроенергії споживачами. Запропонований метод апробовано для вирішення задачі прогнозування споживання електроенергії для району «Варварівка» м. Миколаїв (на рис. 3 представлено графіки споживання для періоду 7.04.14-11.04.14 в залежності від часу доби).

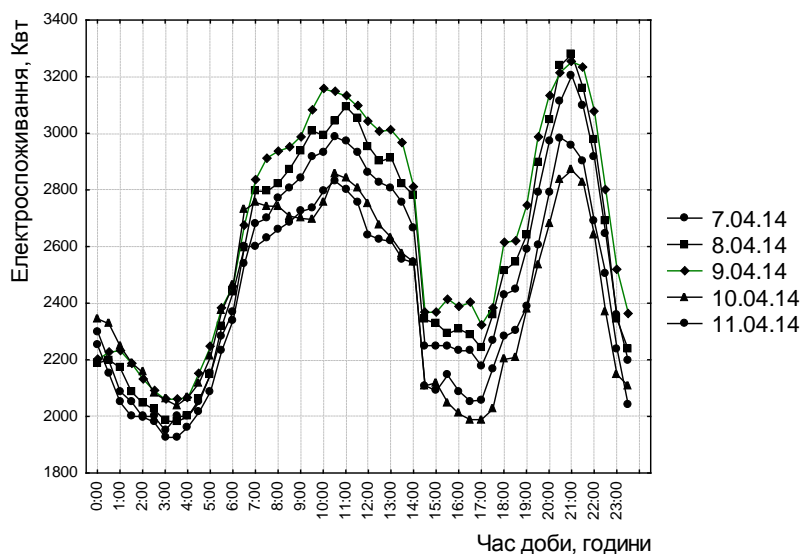


Рис. 3 – Споживання електроенергії для району «Варварівка» м. Миколаїв за період з 7.04.14 по 11.04.14

На основі статистичних даних (період 1.04.14-31.05.14) виконано чисельний експеримент з використанням лінійного методу, методу Калмана третього порядку і запропонованого методу на основі моделі (1) третього порядку нелінійних зв'язків. На рис. 4 представлені графіки залежностей відносної похибки прогнозування для різних моментів часу.

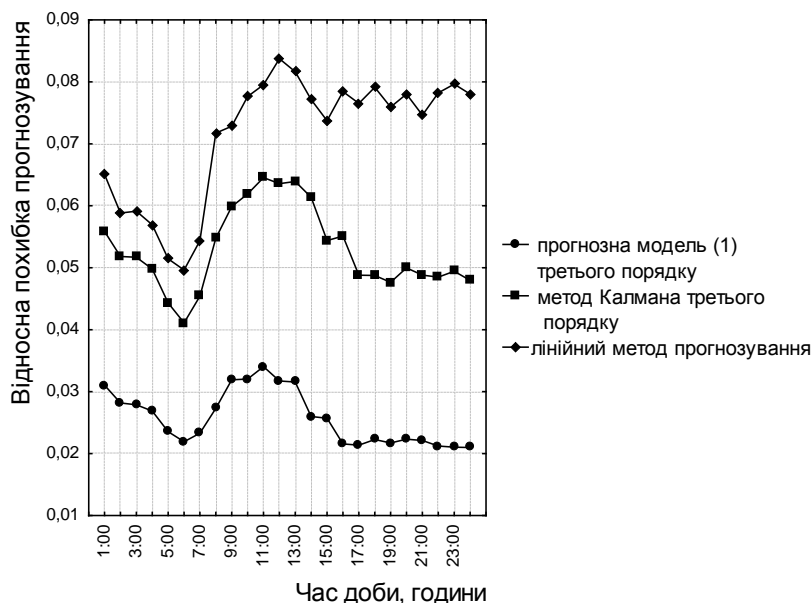


Рис. 4 – Похибка прогнозування споживання електроенергії для району «Варварівка» м. Миколаїв

Результати експерименту вказують на високу точність прогнозування на основі алгоритму (1) в порівнянні з лінійним методом за рахунок використання нелінійних стохастичних зв'язків і в порівнянні з методом Калмана за рахунок суттєвого збільшення апостеріорної інформації, що використовується для прогнозування.

**Висновки.** Запропоновано метод прогнозування майбутніх значень процесу споживання електроенергії, що не накладає жодних обмежень на його властивості (вимога лінійності, марковості, монотонності, стаціонарності і т.д.). Результати чисельного експерименту підтвердили високу ефективність методу, відносна похибка прогнозування споживання електроенергії складає 2-3 %.

**Список літератури:** 1. Довгий С. О. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень [Текст] / С. О. Довгий, П. І. Бідюк, О. М. Трофимчук, О. І. Савенков. – К.: Азимут–Україна, 2011. – 608 с. 2. Розанов, Ю. А. Стационарные случайные процессы: 2–е изд., доп [Текст] / Ю. А. Розанов. – М.: Наука. Гл.ред. физ.–мат. лит., 1990. – 272 с. 3. Яглом, А. М. Введение в теорию стационарных случайных функций [Текст] / А. М. Яглом // Успехи математических наук. – 1995. – Т. 7, вып. 5(51). – С. 3–168. 4. Тихонов, В. И. Марковские процессы [Текст] / В. И. Тихонов, М. А. Миронов. – М.: Сов. радио, 1977. – 488 с. 5. Пугачев, В. С. Стохастические дифференциальные системы [Текст] / В. С. Пугачев, И. Н. Сеницын. – М.: Наука, 1985. – 560 с. 6. Кудрицкий, В. Д. Фильтрация, экстраполяция и распознавание реализаций случайных функций [Текст] / В. Д. Кудрицкий. – К.: ФАДА, ЛТД, 2001. – 176 с. 7. Атаманюк, І. П. Поліноміальний алгоритм оптимальної екстраполяції параметрів стохастических систем [Текст] / І. П. Атаманюк // Управляющие системы и машины. – 2002. – №1. – С. 16-19. 8. Atamanyuk, I. P. Optimal Polynomial Extrapolation of Realization of a Random Process with a Filtration of Measurement Errors [Текст] / I. P. Atamanyuk // Journal of Automation and Information Sciences. Volume 41, Issue 8, Begell House, USA – 2009. – pp. 38-48. 9. Atamanyuk, I. P. Algorithm to determine the optimal parameters of a polynomial Wiener filter–extrapolator for nonstationary stochastic processes observed with errors [Текст] / I. P. Atamanyuk // Cybernetics and Systems Analysis. Volume 47, Issue 2, Springer, USA, – 2011. – pp. 305-310. 10. Атаманюк, І. П. Поліноміальний канонічний розклад скалярного випадкового процесу зміни параметрів радіоелектронних пристроїв [Текст] / І. П. Атаманюк // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – 2000. – №13. – С. 99-101. 11. Atamanyuk, I. P. The algorithm of optimal polynomial extrapolation of random processes [Текст] / I. P. Atamanyuk, V. Y. Kondratenko, O. V. Kozlov, Y. P. Kondratenko // Modeling and Simulation in Engineering, Economics and Management. K. J. Engemann, A. M. Gil-Lafuente, J. M. Merigo (Eds.) Lecture Notes in Business Information Processing. LNBIP 115, New-York, Springer, 2012. – pp. 78-87.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Dovgiy, S. O., Bidiyuk, P. I., Trofimchuk, O. M. and Savenkov, O. I.* (2011). Forecasting methods in systems decision support. Kiev: Azimuth-Ukraine. 608 p. 2. *Rozanov, Y. A.* (1990). Stationary random processes. Moscow: Science. 272 p. 3. *Yaglom, A. M.* (1995). Introduction to the theory of stationary random functions. *Uspehi matematicheskikh nauk*, Vol. 7, № 5(51), 3–168. 4. *Tihonov, V. I. and Mironov, M. A.* (1977). Markov processes. Moscow: Soviet radio. 488 p. 5. *Pugachev, V. S. and Sinitsyn, I. N.* (1985). Stochastic differential systems. Moscow: Science. 560 p. 6. *Kudritskiy, V. D.* (2001). Filtering, extrapolation and recognition of realizations of random functions. Kiev: FADA, LTD. 176 p. 7. *Atamanyuk, I. P.* (2002). A polynomial algorithm for optimal extrapolation of the parameters of stochastic systems. *Upravlyayuschie sistemy i mashiny*, Vol. 1, 16–19. 8. *Atamanyuk, I. P.* (2009). Optimal Polynomial Extrapolation of Realization of a Random Process with a Filtration of Measurement Errors. *Journal of Automation and Information Sciences*, Vol. 41, № 8, 38–48. 9. *Atamanyuk, I. P.* (2011). Algorithm to determine the optimal parameters of a polynomial Wiener filter–extrapolator for nonstationary stochastic processes observed with errors. *Cybernetics and Systems Analysis*, Vol. 47, № 2, 305–310. 10. *Atamanyuk, I. P.* (2000). Polynomial canonical decomposition of a scalar random process changes of parameters of radio-electronic devices. *Visnik ZhITI. Tehnichni nauki*, Vol. 13, 99–101. 11. *Atamanyuk, I. P., Kondratenko, V. Y., Kozlov, O. V. and Kondratenko, Y. P.* (2012). The algorithm of optimal polynomial extrapolation of random processes. *Modeling and Simulation in Engineering, Economics and Management*. New-York: Springer, 78–87.

*Надійшла (received) 21.02.2015*