

production. – Moscow: Mashinostroenie. – 116.**3. Gadyatskaya, O. A.** (2008). Optimization of network structure on the criterion of the minimum expected number of bound pairs of nodes. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/015.pdf>. **4. Glynn, P. W. Iglehart D. L.** (1989). Importance Sampling for Stochastic Simulations. *Manag. Science.* 35, № 10, 1367 – 1392.**5. Smith, P. J. Shafi, M. Gao, H.** (1997). Quick Simulation: A Review of Importance Sampling Techniques in Communications System. *IEEE Selected Areas Commun.* 15, № 4, 597 – 613.**6. Kovalenko, I. N. Kuznetsov, N. Yu. Pegg, Ph. A.** (1997). *Mathematical Theory of Reliability of Time Dependent Systems with Practical Applications* Chichester: Wiley, 303.**7. Andon, F. I. Balabanov, A. S.** (2007). Structural statistical models: a tool for learning and modeling. *Sistem. doslidzh. ta inform. tehnologiyi.* № 1, 79 – 98.**8. Kumamoto, H. Tanaka, K. Inone, K. Henley, E. S.** (1980). Daggestsampling Monte Carlo for System Unavailability Evaluation. *IEEE Trans. Reliab.* R-29, № 2, 122 – 125.**9. Shumskaya, A. A.** (2003). Accelerated simulation of availability of renewable systems with limited relative error of assessment. *Kibernetika i sistemnyi analiz.* № 3, 45 – 58.**10. Kozheshkurt, V. I. Ostashevskiy, V. B. Kuznetsov, N. Yu.** (2008). The use of rapid modeling to calculate the optimal amount of spare elements to ensure the required reliability. *ReestratsIya, zberIgannya i obrobka danih,* V. 10, № 1, 69 – 79.**11. Glasserman, P. Heidelberger, Ph. Shahabuddin, P. Zajic, T.** (1999). Multilevel Splitting for Estimating Rare Event Probabilities. *Oper. Research.* 47, № 4, 585 – 600.**12. Fox, B. L. Glynn, P.W.** (1990). Discrete-Time Conversion for Simulating Finite-Horizon Markov Processes. *SIAM J. Appl. Math.* 50, № 5, 1457 – 1473.**13. Glasserman, P. Heidelberger, Ph. Shahabuddin, P. Zajic, T.** (1999). Multilevel Splitting for Estimating Rare Event Probabilities. *Oper. Research.* 47, № 4, 585 – 600.**14. Shpak, V. D.** (2005). Analytical and statistical estimates for terminating the processes of recovery and their effectiveness. *Kibernetika i sistemnyi analiz,* № 1, 138 – 155.**15. Kochkarov, A. A. Malinetskiy, G. G.** (2005). Ensuring the stability of complex systems. *Structura***16. Plachinda, O. E., Stanovskiy, A. L., Saveleva, O. S.** (2007). Methods for assessing fault tolerance of complex technical systems. *Zb. nauk. prats Odesk. In-tu suhop. viysk. Odesa,* № 14, 106 – 109.

*Поступила (received) 18.04.2015*

**УДК 681.5.01**

**А. І. ЖУЧЕНКО**, д-р техн. наук, проф., зав. каф., НТУУ «КПІ» Київ;  
**В. С. ЦАПАР**, ст. викл., НТУУ «КПІ» Київ

## **СИНТЕЗ СПОСТЕРІГАЧА СТАНУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ**

В даній роботі проведено синтез спостерігачів стану температурного режиму скловарної печі на базі різних модифікацій фільтра Калмана. Проведено імітаційне моделювання роботи скловарної печі із синтезованими спостерігачами. Досліджено результати моделювання та зроблено висновки щодо доцільності використання даних спостерігачів при різних видах збурень. Показано, що найкраще працює модифікований фільтр Калмана з фільтрами шумів, що діють на стан об'єкту.

**Ключові слова:** спостерігач, фільтр Калмана, імітаційне моделювання, математична модель, скловарна піч.

**Вступ.** Основним технологічним процесом у виробництві скляної продукції є процес скловаріння. Ефективність даного процесу визначається його температурним режимом [1]. Температура скломаси є найважливішим технологічним параметром, що визначає процеси розплавлення, очищення, гомогенізації, повторного очищення та термічної однорідності скла. Це обумовлює потребу створення досконалої системи контролю та керування температурами скломаси та газового середовища у скловарній печі.

© А. І. ЖУЧЕНКО, В. С. ЦАПАР, 2015

**Аналіз існуючих систем контролю та керування температурного режиму процесу скловаріння.** На протязі останніх десятиліть для розробки систем керування температурного режиму застосовуються новітні здобутки теорії автоматичного керування. Опису розроблених систем керування присвячена значна кількість робіт вітчизняних та закордонних авторів.

У роботі [2] автором було досліджено різноманітні підходи до моделювання та керування скловарною піччю, та був зроблений висновок про більш доцільне використання прогнозувального керування з нелінійними моделями. Робота [3] присвячена опису та дослідженню результатів роботи системи керування ЕНАС (Extended Horizon Adaptive Controller), у висновках йдеться про задовільний результат роботи даної системи по подоланню височастотних збурень. У роботах [4,5] запропоновано системи керування температурним режимом скловарної печі на базі нечітких регуляторів. Також поширеними є системи керування побудовані на базі класичних та модифікованих ПІД регуляторів [6,7].

**Постановка задачі дослідження.** Розглянуті системи контролю та керування температурним режимом скловарної печі передбачають вимірювання температур у певних її точках. Кількість таких точок досить обмежена, що не дозволяє сформувати повну картину температурного поля скловарної печі. Дана обставина погіршує контроль за процесом та його діагностування, що може призвести до передаварійних і навіть аварійних ситуацій. Крім того, ефективність систем керування, побудованих на обмеженій інформації про температурне поле, може виявитися нижче за можливу.

У цій ситуації альтернативою є використання спостерігачів, зокрема фільтра Калмана [8], який дозволяє за виміряними вхідними та вихідними даними розрахувати (оцінити) значення температур у будь-якій точці скловарної печі, використовуючи математичну модель процесу, що розглядається. На практиці різниця між оцінками вимірювань та реальними вимірюваннями процесу (термопарами) мають місце завдяки збуренням процесу, похибкам моделі, з одного боку, та неточності датчиків або їх похибками, з другого боку. З часом ці різниці, які є похибками оцінювання вихідних змінних  $\varepsilon_y(t) = y(t) - \hat{y}(t)$  можуть зростати і призводити до великих неузгоджень між прогнозами моделей та реальними значеннями змінних процесу.

Якщо математична модель, що використовується, адекватно описує реальний процес скловаріння, то відхилення прогнозованих за моделлю значень температур від вимірюваних значень можна вважати такими, що викликані збуреннями з відомими стохастичними властивостями, то спостерігач може бути синтезований за умови мінімізації математичного сподівання середньоквадратичної норми (СКН) похибки  $\varepsilon = T - \hat{T}$  між температурним полем, що вимірюється  $T$ , та його оцінкою  $\hat{T}$ :

$$\|\varepsilon\|_{СКН} = (\lim_{k \rightarrow \infty} E\{\varepsilon^T(k)\varepsilon(k)\})^{1/2},$$

де  $E\{\varepsilon^T(k)\varepsilon(k)\}$  - математичне сподівання випадкової величини  $\varepsilon(k)$ .

При цьому будемо вважати, що вимірювання температур скломаси виконуються періодично через  $\Delta t$  одиниць часу. Вимірювання у  $k$ -момент часу значень  $y(t)$  позначимо як  $y(k) = y(t_k) = y(k \Delta t)$ . На рис. 1 схематично показана процедура оцінювання, яка використовується у даному дослідженні.

Як видно з рис. 1, у процесі дослідження розглядаються два види збурень:  $d_1(k)$  – збурення, що безпосередньо впливають на стан процесу скловаріння та  $d_2(k)$  – збурення, які спостерігаються у вихідних вимірюваннях.

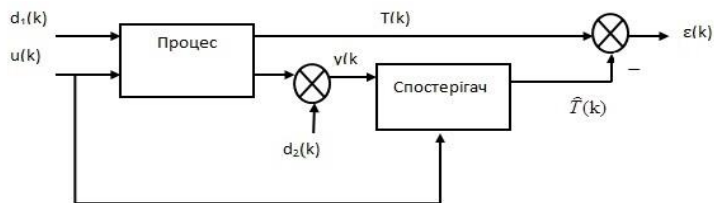


Рис. 1 – Структурна схема процедури оцінювання

При синтезі стандартного фільтра Калмана як збурення, що діють на стан процесу, так і похибки вимірювання вважають сигналом типу «білий шум» [9]. Однак, з практики скловаріння відомо, що існують збурення, які змінюються повільно у межах частот самого процесу і які суттєво впливають на сам процес. Прикладом таких повільно змінюваних збурень є зміна числа Редокса скломаси, що суттєво впливає на теплопровідність останньої. Дані збурення спостерігаються на вимірюваних виходах. У зв'язку з цим сигнали збурення при синтезі спостерігача треба розглядати як послідовність кольорових шумів.

Таким чином, метою даної статті є синтез фільтра Калмана для процесу скловаріння з урахуванням збурень у вигляді послідовності кольорових шумів.

**Розширений фільтр Калмана.** Фільтр Калмана може бути розширений за рахунок фільтрів шуму для покращення функціонування у присутності низькочасотних збурень, які у виробничих умовах варіння скла мають не менш важливе значення, ніж високочастотні збурення. На рис. 2 показана схема оцінювання фільтром Калмана з двома фільтрами шуму  $F_1$  та  $F_2$ . Збурення  $d_1(k)$  та  $d_2(k)$  є послідовністю кольорових шумів, яка формується як результат фільтрації послідовності білих шумів  $v_1$  та  $v_2$

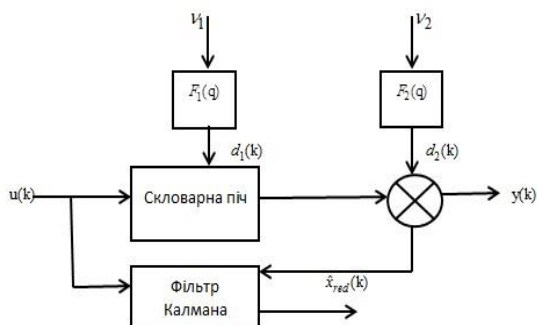


Рис. 2 – Схема оцінювання фільтром Калмана з двома фільтрами шуму

$$d_1 = F_1(q)v_1 \quad d_2 = F_2(q)v_2$$

де,  $q$  - оператор зсуву назад;  $F_1(q) \in \mathbb{R}^{n_{d,1} \times n_{d,1}}$  та  $F_2(q) \in \mathbb{R}^{n_{d,2} \times n_{d,2}}$  - лінійні фільтри, а сигнали  $v_1$  та  $v_2$  є незалежними та нормально розподіленими

$$v_1(k) \in N(0, I_{n_{d,1}}) \quad v_2(k) \in N(0, I_{n_{d,2}})$$

для всіх  $k$ .

Відхилення температури  $\Delta T(k) = T(k) - \bar{T}$  від заданої робочої точки  $\bar{T}$  та вимірювані виходи  $y(k)$  розраховуються за моделлю

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \mathbf{A}x(k) + \mathbf{B}u(k) + \mathbf{G}_1 d_1(k), \\ y(k) &= \mathbf{C}_y x(k) + \mathbf{G}_2 d_2(k), \\ \Delta T(k) &= \mathbf{C}_T x(k), \end{aligned} \quad (1)$$

з вектором станів  $x(k) \in \mathbb{R}^{n_x}$  моделі, матрицями параметрів  $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{n_x \times n_x}$ ,  $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{n_x \times n_u}$ ,  $\mathbf{C}_y \in \mathbb{R}^{n_y \times n_x}$ ,  $\mathbf{C}_T \in \mathbb{R}^{n_T \times n_x}$  та ваговими матрицями  $\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2$  збурень  $d_1(k)$  та  $d_2(k)$ . Елементи матриць  $\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2$  вибираються на основі припущень щодо точності моделі, шумів датчиків та збурень самого процесу.

У подальшому вважаємо керування  $u(k)$  та збурення  $d_1(k)$  і  $d_2(k)$  незалежними, а невідомий початковий вектор стану  $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0 \in N(0, Q_0)$  є нормально розподіленою випадковою величиною з невідомою матрицею коваріації  $Q_0$ .

Фільтри шуму  $F_1$  та  $F_2$  можуть бути представлені моделлю у просторі станів

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{F_1}(k+1) &= \mathbf{A}_{F_1} \mathbf{x}_{F_1}(k) + \mathbf{B}_{F_1} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{d}_1(k) &= \mathbf{C}_{F_1} \mathbf{x}_{F_1}(k) + \mathbf{D}_{F_1} \mathbf{v}_1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{F_2}(k+1) &= \mathbf{A}_{F_2} \mathbf{x}_{F_2}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{B}_{F_2}^F & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}_{F_2}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{v}_2^F(k) \\ \mathbf{v}_2^{NF}(k) \end{bmatrix}}_{\mathbf{v}_2(k)} \\ \mathbf{d}_2(k) &= \mathbf{C}_{F_2} \mathbf{x}_{F_2}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & \mathbf{D}_{F_2}^{NF} \end{bmatrix}}_{\mathbf{D}_{F_2}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{v}_2^F(k) \\ \mathbf{v}_2^{NF}(k) \end{bmatrix}}_{\mathbf{v}_2(k)} \end{aligned} \quad (3)$$

де  $\mathbf{x}_{F_1} \in R^{n_{d_1}}$ ,  $\mathbf{x}_{F_2} \in R^{n_{d_2}}$  – змінні стану фільтрів,  $\mathbf{A}_{F_1} \in R^{n_{d_1} \times n_{d_1}}$ ,

$\mathbf{B}_{F_1} \in R^{n_{d_1} \times n_{d_1}}$ ,  $\mathbf{C}_{F_1} \in R^{n_{d_1} \times n_{d_1}}$ ,  $\mathbf{D}_{F_1} \in R^{n_{d_1} \times n_{d_1}}$ ,  $\mathbf{A}_{F_2} \in R^{n_{d_2} \times n_{d_2}}$ ,  $\mathbf{B}_{F_2}^F \in R^{n_{d_2} \times n_{d_2}}$ ,  $\mathbf{C}_{F_2} \in R^{n_{d_2} \times n_{d_2}}$ ,  $\mathbf{D}_{F_2}^{NF} \in R^{n_{d_2} \times n_{d_2}}$  – матриці параметрів моделей двох фільтрів збурень.

Вектор збурення  $\mathbf{v}_2$  розбитий на дві складові: вектор  $\mathbf{v}_2^F(k)$ , що фільтрується, та вектор  $\mathbf{v}_2^{NF}(k)$ , що не фільтрується (білий шум вимірювачів). Вважається, що ці вектори незалежні один від одного. Параметри моделі визначаються дослідником (можуть бути задані) та використовуються для налаштування фільтра Калмана.

Математичний опис фільтрів (2) та (3) підставимо замість  $G_1 d_1(k)$  та  $G_2 d_2(k)$  у рівняння (1):

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}(k+1) \\ \mathbf{x}_{F_1}(k+1) \\ \mathbf{x}_{F_2}(k+1) \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{C}_{F_1} & 0 \\ 0 & \mathbf{A}_{F_1} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{A}_{F_2} \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}^{(E)}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{x}_{F_1}(k) \\ \mathbf{x}_{F_2}(k) \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}^{(E)}(k)} + \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{B} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}^{(E)}} \mathbf{u}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{D}_{F_1} & 0 \\ \mathbf{B}_{F_1} & 0 \\ 0 & \mathbf{B}_{F_1} \end{bmatrix}}_{\mathbf{G}_1^{(E)}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{v}_1(k) \\ \mathbf{v}_2(k) \end{bmatrix}}_{\mathbf{d}(k)} \quad (4)$$

$$\mathbf{y}(k) = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{C} & 0 & \mathbf{C}_{F_2} \end{bmatrix}}_{\mathbf{C}^{(E)}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{x}_{F_1}(k) \\ \mathbf{x}_{F_2}(k) \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}^{(E)}(k)} + \mathbf{D} \mathbf{u}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & \mathbf{D}_{F_2} \end{bmatrix}}_{\mathbf{G}_2^{(E)}} \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1(k) \\ \mathbf{v}_2(k) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Математична модель (4) та (5) може бути записана у вигляді

$$\mathbf{x}^{(E)}(k+1) = \mathbf{A}^{(E)} \mathbf{x}^{(E)}(k) + \mathbf{B}^{(E)} \mathbf{u}(k) + \mathbf{G}_1^{(E)} \mathbf{v}^{(E)}(k) \quad (6)$$

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{C}^{(E)} \mathbf{x}^{(E)}(k) + \mathbf{D} \mathbf{u}(k) + \mathbf{G}_2^{(E)} \mathbf{v}^{(E)}(k) \quad (7)$$

Далі фільтр Калмана може бути синтезований відомими методами [10] з використанням матриць  $\mathbf{A}^{(E)}$  та  $\mathbf{C}^{(E)}$  для розв'язання рівнянь Рікатті.

Розглянемо 4 типи фільтра Калмана:

1. Стандартний фільтр Калмана:  $\mathbf{C}_{F_1} = 0$ ,  $\mathbf{C}_{F_2} = 0$  (ФК).

2. Модифікований фільтр Калмана з фільтрами шумів, що діють на стан об'єкту (ФКСО):  $\mathbf{C}_{F_1} = [\mathbf{I}_{n_y} \quad 0]^T$ ,  $\mathbf{C}_{F_2} = 0$ . При цьому передбачається, що збурення,

які діють на стан об'єкту змінюються повільно (так, як «день\ніч» ефекти, зміна числа Редокса тощо).

3. Модифікований фільтр Калмана з фільтрами шумів, що діють на вході об'єкту (ФКВхО):  $C_{F_1} = [B^T \ 0]^T$ ,  $C_{F_2} = 0$ . У цьому випадку, збурення, що діють на стан об'єкту, впливають так само, як і вхідні змінні.

4. Модифікований фільтр Калмана з фільтрами, що діють на виході об'єкту (ФКВиО)  $C_{F_1} = 0$ ,  $C_{F_2} = I_{n_y}$ . Цей випадок відповідає повільним змінам збурень, що впливають на вимірювання вихідних змінних.

**Імітаційне моделювання.** Мета імітаційного моделювання – дослідити ефективність запропонованих модифікацій фільтра Калмана у порівнянні із стандартним фільтром для оцінювання температур у різних точках скловарної печі. Як контрольні точки вибрані шість точок, розташованих біля дна скловарної печі. У якості керувань використовуються відхилення  $\Delta T(k)$  температури своду скловарної печі від заданого значення та витрати скломаси  $S(k)$ , що відбирається.

Для розрахунку «виміряних» температур використовувалась математична модель у вигляді

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}\mathbf{u}(k), \\ \mathbf{y}(k) &= \mathbf{C}_y\mathbf{x}(k), \\ \mathbf{T}(k) &= \mathbf{C}_T\mathbf{x}(k). \end{aligned} \quad (8)$$

Ця модель демонструє зв'язок вектора температур  $\mathbf{T}(k)$  з вектором виходів  $\mathbf{u}(k) \in R^2$  та вектором вимірюваних температур  $\mathbf{y}(k) \in R^6$ . Вектор стану  $\mathbf{x}(k) \in R^8$  характеризує пам'ять моделі і не має безпосереднього фізичного змісту. Матриці  $\mathbf{A} \in R^{8 \times 8}$ ,  $\mathbf{B} \in R^{8 \times 2}$ ,  $\mathbf{C}_y \in R^{6 \times 8}$  та  $\mathbf{C}_T \in R^{11628 \times 8}$  є матрицями параметрів моделі.

Виберемо  $\mathbf{A}_{F_1} = \mathbf{I}_{n_{d1}}$  та  $\mathbf{A}_{F_2} = \mathbf{I}_{n_{d2}}$  одиничними матрицями. Матриці  $\mathbf{B}_{F_1} = \gamma_{d_{1,Fit}} \mathbf{I}_{n_{d1}}$  та  $\mathbf{B}_{F_2}^F = \gamma_{d_{2,Fit}} \mathbf{I}_{n_{d1}}$  є одиничними матрицями, помноженими на вагові коефіцієнти  $\gamma_{d_{1,Fit}}$  та  $\gamma_{d_{2,Fit}}$ . Матриці  $\mathbf{D}_{F_1} = \gamma_{d_1} \mathbf{I}_{n_{d1}}$  та  $\mathbf{D}_{F_2} = \gamma_{d_2} \mathbf{I}_{n_{d2}}$  також вибираємо як одиничні, помножені на вагові коефіцієнти  $\gamma_{d_1}$  та  $\gamma_{d_2}$ .

У процесі імітаційного моделювання скловарної печі досліджувалась реакція останньої східчасті вхідні сигнали.

До вхідних сигналів додавалась послідовність сигналів шумів у вигляді фільтрованого білого шуму, а до вимірюваних виходів додавалися сигнали типу білий шум.

Температури в усіх 6 контрольних точках оцінювались, використовуючи 4 вище описаних фільтра Калмана. Далі аналізувалась похибка оцінювання  $\varepsilon(k) = T(k) - \hat{T}(k)$ . Результати дослідження представлені на рис. 3, а-е.

З отриманих результатів випливає, що фільтр Калмана працює достатньо ефективно, коли збурення подаються на входи та діють на стан об'єкту керування. Помилковим виявилось припущення про кольоровість збурень, які діють на виході, що може призвести до значних похибок оцінювання.

Дані результати дають можливість вважати, що низькочастотні збурення у скловарній печі діють на вході і впливають на стан об'єкта керування.

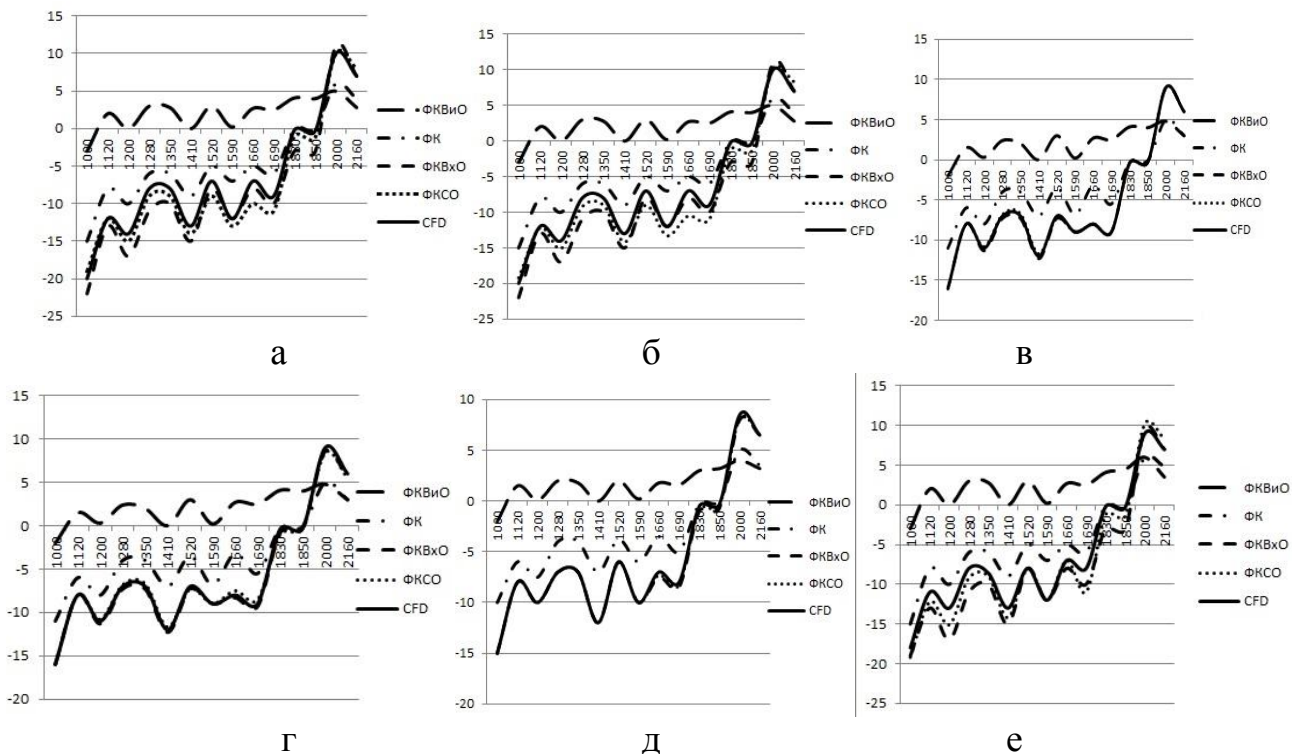


Рис. 3 – Відхилення оцінок температур від «вимірюваних» значень у точках 1–6: відповідно а – е

**Висновки.** В даній роботі було синтезовано спостерігачі стану температурно-го режиму скловарної печі на базі чотирьох модифікацій фільтра Калмана. Проведено імітаційне моделювання, котре показало значну ефективність модифікацій фільтра Калмана для прогнозування змін температури в точках котрі безпосередньо не вимірюються. Як видно з отриманих результатів, найкраще працює модифікований фільтр Калмана з фільтрами шумів, що діють на стан об'єкту.

**Список літератури:** 1. Товажнянський, Л. Л. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве [Текст] / Л. Л. Товажнянський, В. М. Кошельник и др. // Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. –628 с. 2. Havel, P. Overview of automatic control of glass furnaces. [Text] / P. Havel // Ceramics-Silikáty. – 2006. – № 50(1). – P. 1–56. 3. Hill, J. H. Adaptive control of an industrial float glass process [Text] / J. H. Hill, B. E. Ydstie, Y. Jiao // Int. Journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 2004. 4. Суликова, В. А. Алгоритм нечеткого управления процессом варки стекла [Текст] / А. В. Суликова // ВЕСТНИК ОГУ. – 2014. – № 3(164). – С. 173–179. 5. Moon, U. Hybrid algorithm with fuzzy system and conventional PI control for the temperature control of TV glass furnace [Text] / U. Moon, K.Y. Lee. // Control Systems Technology, IEEE Transactions. – 2003. – № 11(4). – p. 548–554. 6. Jianling, Q. Design of Glass Furnace Control System Based on Model-Free Adaptive Controller [Text] / Qi Jianling, Ma Guang // Computer Modeling and Simulation, 2010. ICCMS '10. Second International Conference. – 2010. – № 4. – p. 130–133. 7. Rajarathinam, K. Decentralised PID control tuning for a multivariable glass furnace by genetic algorithm [Text] / K. Rajarathinam, J. B. Gomm, Y. DingLi, A. S. Abdelhadi // Automation and Computing (ICAC), 2014 20th International Conference. – 12-13 September, 2014. – p. 14–19. 8. Синицын, И. Н. Фильтры Калмана и Пугачева [Текст] / И. Н. Синицын // М.: Университетская книга, Логос, 2006. –640 с. 9. Колос, М. В. Методы оптимальной линейной фильтрации [Текст] / М. В. Колос, И. В. Колос // Под ред. В. А. Морозова. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 102с. 10. Балакришнан, А. В. Теория фильтрации Калмана [Текст] / А. В. Балакришнан // Изд-во «Книга по Требованию», 2012. – С.164.

**Bibliography (transliterated):** 1. Tovazhnyanskiy, L. L. (2008). Integrated energy savingthermotehnologi glass industry. Kharkov: NTU «HPI», 628 s. 2. Havel, P. (2006). Overview of automatic

control of glass furnaces. *Ceramics-Silikáty*, № 50(1), 1–56. **3. Hill, J. H.** (2004). Adaptive control of an industrial float glass process. *Int. Journal of Adaptive Control and Signal Processing*. **4. Sulikova, V. A.** (2014). Fuzzy control algorithm glass melting process. *VESTNIK OGU*, № 3(164), 173–179. **5. Moon, U.** (2003). Hybrid algorithm with fuzzy system and conventional PI control for the temperature control of TV glass furnace. *Control Systems Technology, IEEE Transactions*, № 11(4), 548–554. **6. Jianling, Q.** (2010). Design of Glass Furnace Control System Based on Model-Free Adaptive Controller. *Computer Modeling and Simulation*, № 4, 130–133. **7. Rajarathinam, K.** (2014). Decentralised PID control tuning for a multivariable glass furnace by genetic algorithm. *Automation and Computing (ICAC)*, 14–19. **8. Sinitsyn, I. N.** (2006). Kalman and Pugachev filters. M.: Universitetskaya kniga, Logos, 640 s. **9. Kolos, M. V.** (2000). Methods of optimal linear filtering. Pod red. V. A. Morozova. – Moscow.: Izd-vo MGU, 102 s. **10. Balakrishnan, A. V.** (2012). Kalman filtering theory. Izd-vo «Kniga po Trebovaniyu», 164 p.

*Надійшла (received) 29.04.2015*

## УДК 665.9

**Т. Б. ШАТОВСЬКА**, канд. техн. наук, доц., ХНУРЕ, Харків  
**І. В. КАМЕНЄВА**, канд. техн. наук, доц., ХНУРЕ, Харків

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ BDD-ФРЕЙМВОРКІВ У ТЕСТУВАННІ БЕЗПЕКИ WEB- ОРІЄНТОВАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

На сьогоднішній день особливо важливі технології та методології, які дозволяють оперативного та ефективно створювати нові інструменти, при цьому на перше місце виходять технології та методології, які дозволяють з мінімальними затратами досягати бізнес-цілей замовника. Дана тема особливо актуальна в умовах поточної економічної кризи, істотно обмежує ІТ-бюджети і підсилило конкуренцію на ринку розробки замовленого програмного забезпечення. Виявлені деякі слабкості bdd-фреймворків у тестуванні безпеки web-орієнтованого програмного забезпечення

**Ключові слова:** bdd-фреймворк, web-додаток, Agile, модель, програмне забезпечення.

**Вступ.** Проекти розробки систем автоматизації, як і будь-які інші проекти, мають стандартний набір обмежень: терміни, ресурси, бюджет, якість. Як і в інших проектах, у проектах розробки програмного забезпечення стоїть завдання оптимізації цих показників.

Аналіз оптимізації процесу розробки систем автоматизації здійснюється за рахунок більш ефективного використання ресурсів, підвищення якості виконання робіт та зниження термінів шляхом застосування методології Agile, пропонованої як розширення методологій, побудованих за ітеративному принципом і націленої на швидку і ефективну розробку інноваційних продуктів.

**Аналіз ефективності моделей розробки.** Проекти розробки систем автоматизації, як і будь-які інші проекти, мають стандартний набір обмежень: терміни, ресурси, бюджет, якість. Як і в інших проектах, у проектах розробки програмного забезпечення стоїть завдання оптимізації цих показників.

Дана тема особливо актуальна в умовах поточної економічної кризи, істотно обмежує ІТ-бюджети і підсилило конкуренцію на ринку розробки замовленого програмного забезпечення.

Зараз особливо важливі технології та методології, які дозволяють оперативного та ефективно створювати нові інструменти, при цьому на перше місце виходять