

УДК 517.977.1

Барабаш О. В., доктор техн. наук, професор. Тел.: +380 (95) 870 24 90. E-mail: bar64@ukr.net

Дахно Н. Б., магістр. Тел.: +380 (44) 249 25 96

(Державний університет телекомунікацій, м. Київ)

МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ВАРІАЦІЙНО-ГРАДІЄНТНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Barabash O. V., Dakhno N. B. The technique for implementation of variational-gradient method for dynamic models in decision support system. We consider dynamic models of decision support systems for controlling unmanned aircraft set of equations, which are defined by K -positive determined K -symmetric operators. To these models one-step and two-step variational-gradient method is applied. Methodology is developed for practical convenience of one-step and two-step application of variational-gradient methods. Application of variational-gradient methods to dynamic models in decision support systems for controlling unmanned aircraft consists of algorithms and corresponding unit circuits. Present method makes it possible to optimally implement methods of variational-gradient type in the automation control drones. Application of variational-gradient methods in decision support systems will improve the efficiency of information processing in decision-making processes and, thus, improve the quality and efficiency of management unmanned aircraft.

Keywords: dynamic model, decision support system, flight mission, unmanned aerial vehicles, trajectory, variation-gradient method, gradient method

Барабаш О. В., Дахно Н. Б. Методика застосування варіаційно-градієнтних методів для динамічних моделей в системах підтримки прийняття рішень. Розглянуто динамічні моделі систем підтримки прийняття рішень для управління безпілотними літальними апаратами заданими рівняннями з K -позитивно визначеними K -симетричними операторами. До вказаних моделей розроблена методика застосування методів варіаційно-градієнтного типу, яка складається з алгоритмів та відповідних блок схем. Приведена методика дає можливість оптимально реалізовувати методи варіаційно-градієнтного типу в процесі автоматизації керування безпілотними літальними апаратами.

Ключові слова: динамічна модель, система підтримки прийняття рішень, польотне завдання, безпілотний літальний апарат, траєкторія польоту, варіаційно-градієнтний метод

Барабаш О. В., Дахно Н. Б. Методика применения вариационно-градиентных методов для динамических моделей в системах поддержки принятия решений. Рассмотрены динамические модели систем поддержки принятия решений для управления беспилотными летательными аппаратами заданными уравнениями с K -положительно определенными K -симметричными операторами. Для указанных моделей разработана методика применения методов вариационно-градиентного типа, которая состоит из алгоритмов и соответствующих блок-схем. Предложенная методика позволяет оптимально реализовывать методы вариационно-градиентного типа в процессе автоматизации управления беспилотными летательными аппаратами.

Ключевые слова: динамические модели, система поддержки принятия решений, полетное задание, беспилотный летательный аппарат, траектория полета, вариационно-градиентный метод

Вступ. Постановка завдання. Інтенсивний розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) за останній час привів до значного поширення переліку завдань, як у військовій, так і в цивільній сферах. У зв'язку з тим, що запас енергії на борту легкого безпілотного літака є обмеженим, то обмеженим є також час автономного польоту та можливості використання ряду характерних завдань. Для мінімізації витрат на виконання завдань необхідно впровадження відповідної системи підтримки прийняття рішень (СППР), яка дозволяє в реальному масштабі часу розробляти оптимальну програму польоту БПЛА [1].

Основою СППР є формалізований опис – математична модель ситуації прийняття рішення. В даний час є значні успіхи в розробці і широкому практичному застосуванні математичних моделей різних класів для керування БПЛА [2, 3]. Велике розмаїття ситуацій, що виникають при управлінні, необхідність оперативного прийняття рішень, що задовольняють різномірним якісним вимогам, викликають необхідність комплексного використання багатого арсеналу математичних моделей і методів.

У класичному аналізі розроблено немало прийомів дослідження математичних моделей через елементарні (або спеціальні) функції. Тим часом дуже часто при розв'язанні практичних задач ці методи виявляються або зовсім безпорадними, або їх розв'язання пов'язано з недопустимими витратами зусиль і часу. З цієї причини для розв'язання задач практики створені методи наближеного розв'язання.

Серед різноманітної кількості наближених методів найбільш часто в обчислювальній практиці використовують прямі методи, до яких належать варіаційні, проєкційні і різницеві методи, та методи ітераційного типу. На основі комбінування ідей прямих і ітераційних методів виникли нові ефективні методи, типовими прикладами яких є методи варіаційно-градієнтного типу. Такий синтез зумовлений потребою усунути властиві їм недоліки. Тому актуальним і перспективним є поширення зазначених методів на більш широкий клас рівнянь і застосування їх до дослідження динамічних моделі СППР для керування БПЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання планування траєкторії в контексті управління складними технічними об'єктами вивчається з 50-х років ХХ століття. Одним з перших проєктів в цій області був відомий проєкт Стенфордського університету США по створенню робота SHAKY в 1966-1972 рр. Саме він поклав початок багаторічним дослідженням методів і підходів до вирішення завдань планування траєкторії та управління безпілотними літальними апаратами, яким приділяється багато уваги [4, 5].

Останнім часом значна увага приділяється застосуванню систем підтримки прийняття рішень для задач управління БПЛА [1-3]. На жаль, майже всі існуючі методи планування траєкторії, що використовуються в системах управління сучасними безпілотними літальними апаратами, є достатньо ресурсномісткими.

Метою даної статті є дослідження математичної моделі системи підтримки прийняття рішень для управління БПЛА, що описується рівняннями з K -позитивно визначеними, K -симетричними операторами за допомогою варіаційно-градієнтних методів.

Опис моделі СППР. Будемо розглядати динамічні моделі СППР для управління БПЛА в операторному вигляді, тобто моделі описуються рівняннями або системами рівнянь вигляду:

$$Ay = f, \quad f \in H, \quad (1)$$

Оператор $A: D(A) \rightarrow H$ визначено на щільній в H множині $D(A)$, H деякий гільбертів простір і $H_0 \subset D(A) \subset H$ деякий підпростір. Оператор A є лінійним, K -позитивно визначеним і K -симетричним, тобто існує замикаємий оператор $K: D(K) \rightarrow H$ і $D(K) \subset D(A)$ такий що

$$\exists \alpha, \beta > 0 : (Ay, Ky) \geq \alpha \|y\|^2, \quad \forall y \in D(A); \quad (2)$$

$$\|Ky\|^2 \leq \beta (Ay, Ky), \quad \forall y \in D(A); \quad (3)$$

$$(Ay, Kv) = (Ky, Av), \quad \forall y, v \in D(A). \quad (4)$$

Припустимо, що існує лінійний, K -позитивно визначений і K -симетричний оператор $B: D(B) \rightarrow H$ і $D(B) = D(A)$, для якого просто побудувати обернений. Нехай, виконується умова:

$$\exists \gamma, \delta > 0 : 0 < \gamma \leq \delta < \infty, \quad \forall y \in D(A), \quad (5)$$

$$\gamma (By, Ky) \leq (Ay, Ky) \leq \delta (By, Ky).$$

При виконанні умов (2)-(5) рівняння задовольняє умовам теорем про збіжність однокрокового і двокрокового варіаційно-градієнтних методів [6, 7]. Застосуємо зазначені методи до дослідження динамічних моделей СППР для керування БПЛА.

Однокроковий варіаційно-градієнтний метод. Для практичної реалізації однокрокового варіаційно-градієнтного метода доцільно використовувати наступний алгоритм Рис. 1.

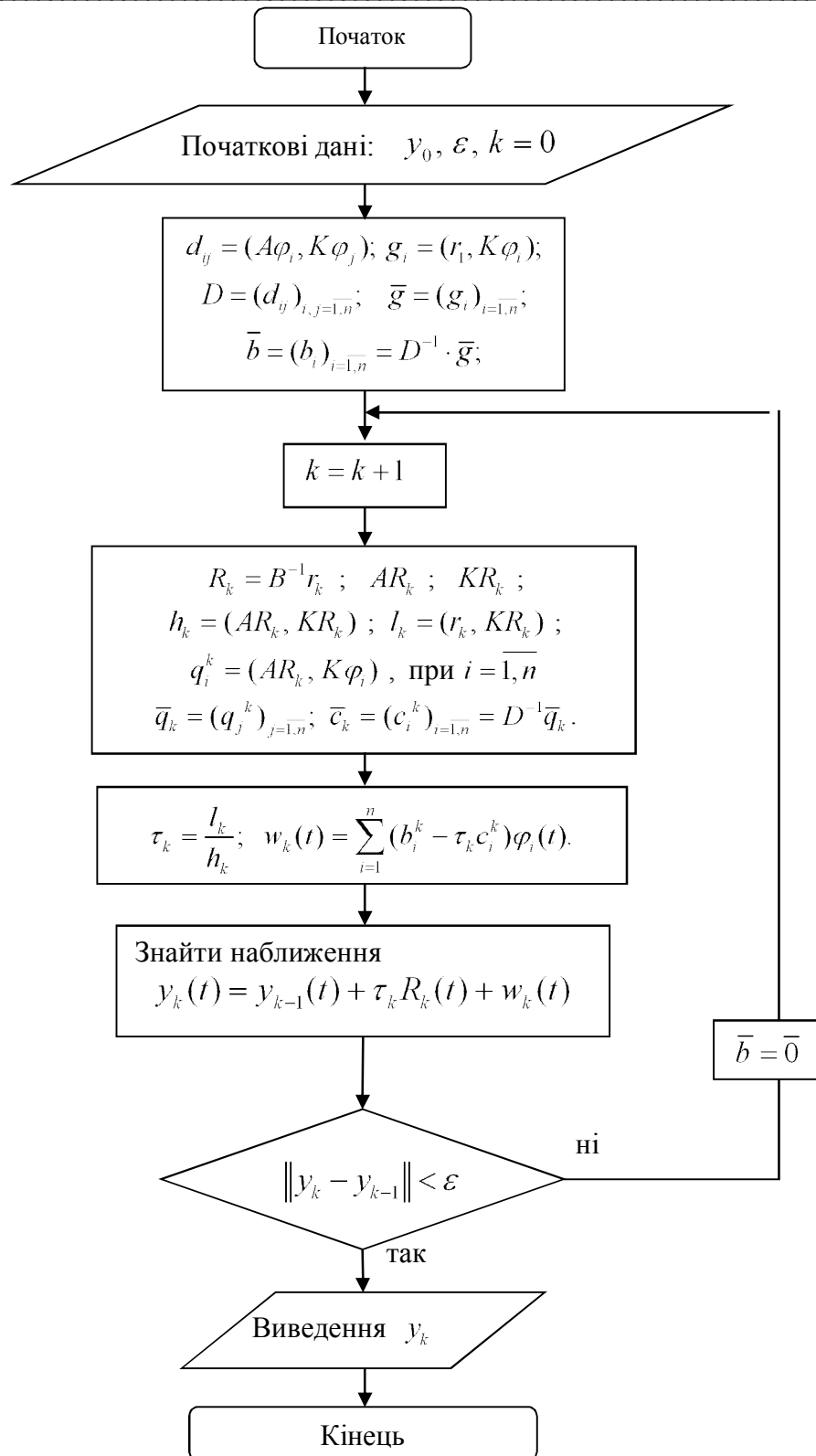


Рис.1. Блок-схема алгоритму однокрокового варіаційно-градієнтного методу

Нехай $y_0 \in D(A)$ – довільне початкове наближення, $\{\varphi_i : i \geq 1\} \subset H_0$ повна система лінійно незалежних елементів, $\varepsilon > 0$ необхідна точність шуканого розв'язку, k – номер ітерації.

1) Ініціалізація початкових даних $y_0, \varepsilon, k = 0$.

2) Обчислення $A\varphi_i$ при $i = \overline{1, n}$; $K\varphi_i$ при $i = \overline{1, n}$.

3) Обчислення скалярних добутків:

$$d_{i+1, j+1} = d_{j+1, i+1} = (A\varphi_j, K\varphi_i) \text{ при } i, j = \overline{1, n};$$

$$D = (d_{ij})_{ij=\overline{1, n}} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}.$$

Знаходження D^{-1} .

4) Обчислення коефіцієнтів \bar{b} для поправки:

$$g_j = (r_1, K\varphi_j), \quad j = \overline{1, n}; \quad \bar{g} = (g_j)_{j=\overline{1, n}}; \quad \bar{b} = (b_i)_{i=\overline{1, n}} = D^{-1} \cdot g.$$

5) Для $k = k + 1$ обчислення виразів: $r_k = f - Ay_{k-1}$, $R_k = B^{-1}r_k$, AR_k , KR_k .

6) Обчислення сталих \bar{c}_k для поправки w_k :

$$q_j^k = (AR_k, K\varphi_j), \quad j = \overline{1, n}; \quad \bar{q}_k = (q_j^k)_{j=\overline{1, n}}; \quad \bar{c}_k = (c_i^k)_{i=\overline{1, n}} = D^{-1}\bar{q}_k.$$

7) Обчислення параметрів τ_k :

$$h_k = (AR_k, KR_k - \sum_{i=1}^n c_i^k K\varphi_i); \quad l_k = (KR_k, r_k - \sum_{i=1}^n b_i^k A\varphi_i); \quad \tau_k = \frac{l_k}{h_k}.$$

8) Обчислення поправки: $w_k(t) = \sum_{i=1}^n (b_i^k - \tau_k c_i^k) \varphi_i(t)$.

9) Обчислення наближення: $y_k(t) = y_{k-1}(t) + \tau_k R_k(t) + w_k(t)$.

10) Якщо $\|y_k(t) - y_{k-1}(t)\| > \varepsilon$, то $\bar{b} = \bar{0}$ і повторити п.п. 5-10.

Двокроковий варіаційно-градієнтний метод. Для практичної реалізації двокрокового варіаційно-градієнтного метода доцільно використовувати наступний алгоритм (Рис. 2).

Нехай $y_0 \in D(A)$ – довільне початкове наближення, $\{\varphi_i : i \geq 1\} \subset H_0$ повна система лінійно незалежних елементів, $\varepsilon > 0$ необхідна точність розв'язку, k – номер ітерації.

1) Ініціалізація початкових даних y_0 , ε , $k = 0$.

2) Обчислення першого наближення згідно однокрокового варіаційно-градієнтного метода за відповідним алгоритмом.

Зауважимо, що згідно з алгоритмом однокрокового варіаційно-градієнтного метода в нас обчислені наступні вирази для виконання наступних ітерацій:

$$d_{ij} = (A\varphi_i, K\varphi_j);$$

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{pmatrix}; \quad D^{-1}; \quad \bar{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{pmatrix};$$

$$k = 2.$$

3) Обчислення виразів: $r_k = f - Ay_{k-1}$; $R_k = B^{-1}r_k$; AR_k ; KR_k ; $\delta_k = y_k - y_{k-1}$; $A\delta_k$; $K\delta_k$.

4) Обчислення сталих \bar{c}_k для поправки w_k :

$$q_j^k = -(AR_k, K\varphi_j), \quad j = \overline{1, n}; \quad \bar{q}_k = (q_j^k)_{j=\overline{1, n}}; \quad \bar{c}_k = (c_i^k)_{i=\overline{1, n}} = D^{-1}\bar{q}_k.$$

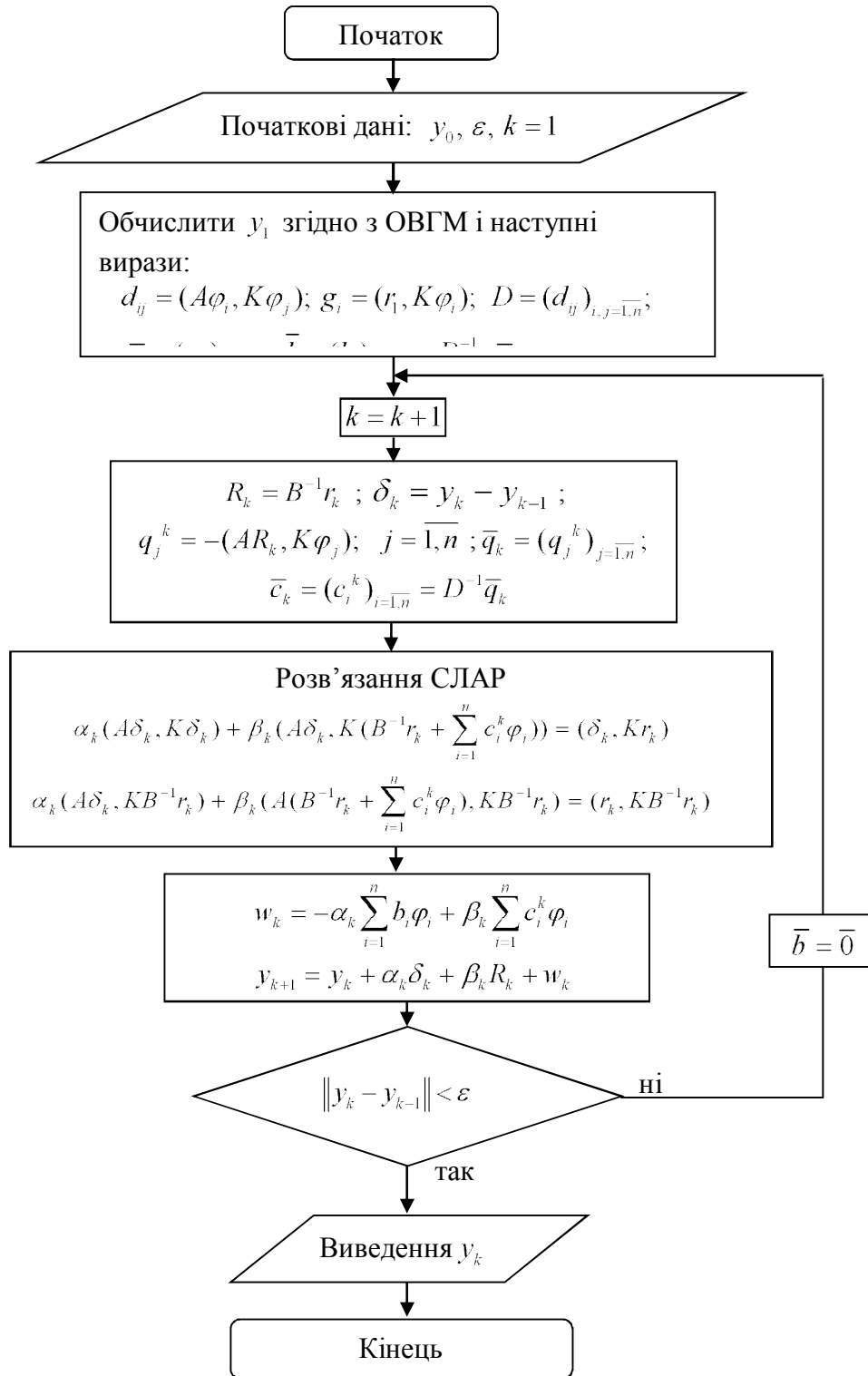


Рис. 2. Блок-схема алгоритму двокрокового варіаційно-градієнтного методу

5) Обчислення параметрів α_k і β_k :

$$h_{11}^k = (A\delta_k, K\delta_k); \quad h_{12}^k = (A\delta_k, K(R_k + \sum_{i=1}^n c_i^k \varphi_i)); \quad h_{21}^k = (A\delta_k, KR_k); \quad h_{22}^k = (A(B^{-1}r_k + \sum_{i=1}^n c_i^k \varphi_i), KB^{-1}r_k);$$

$$l_1^k = (\delta_k, KR_k); \quad l_2^k = (r_k, KR_k); \quad \begin{pmatrix} \alpha_k \\ \beta_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11}^k & h_{12}^k \\ h_{21}^k & h_{22}^k \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} l_1^k \\ l_2^k \end{pmatrix}.$$

б) Обчислення поправки:

$$\text{При } k = 2 : w_2 = -\alpha_2 \sum_{i=1}^n b_i \varphi_i + \beta_2 \sum_{i=1}^n c_i^2 \varphi_i.$$

$$\text{При } k \geq 3 : w_k = \beta_k \sum_{i=1}^n c_i^k \varphi_i.$$

7) Обчислення наближення: $y_{k+1} = y_k + \alpha_k \delta_k + \beta_k R_k + w_k$.

8) Якщо $\|y_{k+1} - y_k\| > \varepsilon$, то $\bar{b} = \bar{0}$ $k = k + 1$ і повторити 3-8.

Наведені методики дають можливість оптимально реалізувати методи варіаційно-градієнтного типу в процесі автоматизації керування безпілотним літальним апаратом.

Висновки. Застосування варіаційно-градієнтних методів в системах підтримки прийняття рішень дозволить досягти нової якості функціонування автоматизованих систем управління, істотно підвищити оперативність обробки інформації в процесах прийняття рішень і, тим самим, підвищити якість і ефективність управління БПЛА.

Література

1. Самков О. В. Підтримка прийняття рішень в системі управління літального апарата / О. В. Самков, В. І. Сілков, О. П. Гожий, О. Є. Мавренков // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – 2012. – Вип. (8)15. – С. 104-109.
2. Барабаш О. В. Нечіткі моделі опису ситуацій в системах автоматичного управління літальним апаратом / О. В. Барабаш, Д. М. Обідін, Р. В. Хращевський // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2012. – № 38. – С. 6-13.
3. Барабаш О. В. Модель баз знань інтелектуальної системи управління високошвидкісного рухомого об'єкта на основі її верифікації / О. В. Барабаш, Д. М. Обідін, А. П. Мусієнко // Системи обробки інформації : збірник наукових праць. – 2004. – № 5 (121). – С. 3-6.
4. Ильюшко В. М. Беспилотные летательные аппараты: Методики приближенных расчетов основных параметров и характеристик / В. М. Ильюшко, М. М. Митрахович, А. В. Самков, В. И. Силков и др.; под общ. ред. В. И. Силкова. – Київ : ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2012. – 302 с.
5. Мосов С. П. Аналіз застосування авіації в післявоєнний період / С. П. Мосов, Р. В. Хращевський // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – № 1 (17). – С. 67-71.
6. Дахно Н. Б. Двокроковий варіаційно-градієнтний метод для рівнянь з K -позитивно визначеним та K -симетричним оператором / Н. Б. Дахно // Доповіді НАН України. – Київ : НАНУ, 2000. – №4. – С. 14-17.
7. Ленков С. В. Однокроковий варіаційно-градієнтний метод щодо математичних моделей комплексних систем захисту інформації / С. В. Ленков, О. В. Хорошко, Н. Б. Дахно // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2009. – №22. – С. 10-13.

Дата надходження в редакцію: 17.07.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. С. В. Ленков