

УДК 528.8.04 (045)

А.М. КОЗУБ, Н.О. СУВОРОВА

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКТУ ЗАСОБОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ АЕРОКОСМИЧНОГО МОНИТОРИНГУ ЛЕСОВЫХ МАССИВОВ

Проведено постановку задачі векторної оптимізації комплекту засобів оптико-електронного спостереження для аерокосмічного моніторингу лісових масивів для подальшого визначення на практиці методів її вирішення, що основані на багато альтернативному виборі варіантів, або на спеціальних алгоритмах. Постановка задачі в цілому на методичному рівні дозволяє обґрунтовувати раціональний комплект засобів аерокосмічного моніторингу та способів їх застосування при здійсненні інформаційного забезпечення народногосподарських завдань. Зроблені висновки щодо практичного вирішення задачі раціонального комплекту засобів спостереження лісових масивів з метою виявлення пожеж

Ключові слова: засоби оптико-електронного спостереження, аерокосмічний моніторинг, оптимізація, комплексування, комплект засобів, ефективність

Вступ

Лісовий покрив є однією з найбільш важливих й динамічних компонент наземних екосистем. Лісами зайнято близько третини суші земного шару. Оцінку стану лісів та їх ресурсів доцільно здійснювати як контактними наземними так і аерокосмічними методами. Основними видами діяльності в лісовому господарстві, де можливе застосування даних аерокосмічного моніторингу є: лісоведення, лісорозведення й лісовідновлення, лісоустрій, охорона й захист лісів, екологія лісу й моніторинг лісових екосистем, використання лісових ресурсів, агро меліорація й рекультивація лісів.

1. Постановка проблеми

Дійсний час характеризується активним розвитком в Україні аерокосмічної галузі [1, 2]. Здійснено запуск вітчизняного космічного апарату дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) СІЧ-2М. Це обумовило необхідність формування концептуальних основ застосування засобів аерокосмічного спостереження та обробки іконічної інформації для вирішення завдань визначення стану об'єктів моніторингу в умовах жорстких вимог до оперативності отримання, передачі та обробки іконічної інформації. Одним з пріоритетних напрямків цих досліджень в Україні є моніторинг лісів з метою виявлення пожеж. Для досягнення потрібних показників ефективності аерокосмічного моніторингу (забезпечення високої розрізняювальної здатності, потрібної полоси огляду, оперативності отримання іконічної інформації за умови мінімізації економічних витрат) постає актуа-

льне завдання з вироблення наукових підходів до комплексування космічних та авіаційних засобів оптико електронного спостереження (ОЕСп) при виконанні аерокосмічного моніторингу лісових масивів. При цьому виникає необхідність обґрунтувати оптимальний (раціональний) за сукупністю різномірних показників комплект комплексів ОЕСп, носіями яких є космічні засоби, літаки, вертольоти, безпілотні літальні апарати (БПЛА) дирижаблі, вільні та прив'язані аеростати, мотодельтоплани, тощо [3]. Відмітимо, що при проведенні досліджень комплект засобів аерокосмічного моніторингу доцільно розглядати як складну систему організаційного типу. Тоді завдання обґрунтування комплекту засобів аерокосмічного моніторингу є випадком розвитку теорії багатокритеріальної (векторної) ресурсної оптимізації в галузь обґрунтування рішень щодо побудови і керування складними системами надання аерокосмічних послуг.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання постановки задач векторної оптимізації та оцінки основних показників якості функціонування аерокосмічних засобів ОЕСп досить повно розглянуті та досліджені в наукових роботах [2, 3].

Однак отримані результати не конкретизовані до вирішення завдань оптимізації комплекту засобів аерокосмічного моніторингу та обґрунтування способів їх застосування. Зокрема, не проведена постановка задачі оптимізації з урахуванням основних показників та критеріїв якості функціонування засобів отримання, передачі та обробки видової інфор-

мації в умовах обмеження на часові показники функціонування складних систем моніторингу лісів з метою виявлення пожеж. Не визначені критерії оптимальності комплекту, основні змінні задачі, що здійснюють суттєвий вплив на обрані критерії, обмеження на змінні, не встановлений взаємозв'язок між критеріями, змінними і обмеженнями при вирішенні задачі оптимізації комплекту засобів аерокосмічного моніторингу.

3. Формулювання цілей статті

Провести постановку задачі векторної оптимізації комплекту засобів аерокосмічного моніторингу для створення основи подальшого визначення на практиці методів її вирішення, що основані або на багато альтернативному виборі варіантів, або на спеціальних алгоритмах.

4. Виклад основного матеріалу

Рішення завдання векторної оптимізації у практиці обґрунтування комплекту засобів аерокосмічного моніторингу має за мету визначення оптимального (раціонального) кількісного і якісного складу оптико-електронних засобів космічного спостереження, засобів пілотованих та безпілотних літальних апаратів, що забезпечує досягнення потрібного рівня ефективності аерокосмічних робіт за сукупністю показників «ефективність – вартість – складність виконання аерокосмічних робіт». Зауважимо, що вирішення задачі у такій постановці має не тільки прикладний характер (оптимізація аерокосмічних робіт), а є по суті основною для вироблення технології організації аерокосмічного моніторингу.

Нехай, процес обґрунтування оптимального (раціонального) комплекту засобів аерокосмічного моніторингу формалізований у вигляді:

$$S_{\text{опт}}^{\text{акм}} = \arg S_i^{\text{акм}} \left\{ \begin{array}{l} P_{\text{інфзаб}}^{\text{пож}}(S_i^{\text{акм}}) \rightarrow \max \\ R_{E_i}^{\text{акм}}(S_i^{\text{акм}}) \rightarrow \min \\ P_{\text{свз}}(S_i^{\text{акм}}) \rightarrow \min \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{вз}_i}^{\text{у}}(S_i^{\text{акм}}) \geq P_{\text{вз}_i}^{\text{употр}} \\ D_i(S_i^{\text{акм}}) \geq D_{\text{потр}} \\ P_i^{\text{виявл}}(S_i^{\text{акм}}) \geq P_i^{\text{виявл}}_{\text{потр}} \\ U^{\text{акм}}(S_i^{\text{акм}}) \geq U_{\text{потр}}^{\text{акм}} \\ \bar{P}_i^{\text{соі}}(S_i^{\text{акм}}) \geq \bar{P}_{\text{шотр}}^{\text{соі}} \end{array} \right\} i \in I = \{1, \dots, \xi\}, \quad (1)$$

де ξ – кількість варіантів складу $S_i^{\text{акм}}$ засобів аерокосмічного моніторингу, що розглядаються під час проведення досліджень;

$P_{\text{інфзаб}}^{\text{пож}}(S_i^{\text{акм}})$ – ймовірність повного виконання завдань з інформаційного забезпечення органу, що ліквідує пожежу інформацією про стан об'єктів моніторингу;

$P_{\text{свз}}(S_i^{\text{акм}})$ – складність виконання завдань з моніторингу об'єктів $S^{\text{акм}}$ при застосуванні i -го варіанту комплекту аерокосмічних засобів;

$R_{E_i}^{\text{акм}}$ – ресурсні (економічні) затрати, що пов'язані із застосуванням i -го варіанту комплекту засобів аерокосмічного моніторингу при виконанні робіт;

$P_{\text{вз}_i}^{\text{у}}(S_i^{\text{акм}}), P_{\text{вз}_i}^{\text{употр}}$ – ймовірність вирішення у повному обсязі завдань з управління комплектом засобів аерокосмічного моніторингу та її потрібний рівень відповідно;

$D_i(S_i^{\text{акм}}), D_{\text{потр}}$ – достовірність аерокосмічної інформації про об'єкти моніторингу при реалізації i -го варіанту комплекту засобів та її потрібний рівень відповідно;

$U^{\text{акм}}(S_i^{\text{акм}}), U_{\text{потр}}^{\text{акм}}$ – функціональна стійкість складу сукупності засобів аерокосмічного моніторингу при реалізації i -го варіанту складу комплекту $S_i^{\text{акм}}$ та її мінімально необхідний рівень;

$P_i^{\text{виявл}}(S_i^{\text{акм}}), P_i^{\text{виявл}}_{\text{потр}}$ – ймовірність правильного виявлення (пошуку) випромінювань засобів передачі інформації космічних апаратів, безпілотних літальних апаратів, пілотованих повітряних суден (типу АН-30, НАРП-1, МІ-8) наземними засобами прийому іконічної інформації та її потрібне значення відповідно;

$\bar{P}_i^{\text{соі}}(S_i^{\text{акм}}), \bar{P}_{\text{шотр}}^{\text{соі}}$ – середня при застосуванні i -го варіанту комплекту засобів аерокосмічного моніторингу ймовірність своєчасного отримання та обробки іконічної інформації органами обробки та аналізу та її мінімально припустиме значення відповідно.

Припустимо, що для повного досягнення мети аерокосмічного моніторингу необхідно одночасно або послідовно вирішити Z_j часткових завдань $Z_1, Z_2, \dots, Z_{m-1}, Z_m, j = 1, 2, \dots, m$ з викриття стану об'єктів $Q^{\text{оакм}}$. Наприклад, виявлення та оцінка

розмірів, темпів збільшення осередків лісових пожеж у відповідних зонах (районах), при цьому осередок пожежі може розпізнаватись як об'єкт відповідного типу (наприклад, великої, середньої або малої інтенсивності). Тоді, при вирішенні кожного j -го завдання необхідно викрити n_j типів об'єктів моніторингу $Q_{jzk}^{\text{оакм}} = \{Q_{jn_1}^{\text{оакм}}, \dots, Q_{jn_j}^{\text{оакм}}\}$, $j = 1, 2, \dots, m$ загальною кількістю для кожного типу $Z_{n_1} \dots Z_{n_j}$ відповідно, у загальному випадку $Z_{n_j} = 1, 2, \dots, \infty$. Припустимо, що об'єкти аерокосмічного моніторингу функціонально незалежні.

Відповідно до сформованої множини об'єктів моніторингу $\{Q_{jn_1}^{\text{оакм}}, \dots, Q_{jn_j}^{\text{оакм}}\}$ для вирішення завдань з добування аерокосмічної інформації визначений набір $H_3^{\text{оес}} = \{3^{\text{оес}}_1, \dots, 3^{\text{оес}}_f, \dots, 3^{\text{оес}}_{n_j}\}$, засобів оптико-електронного спостереження f типів, $f \in \{1, \dots, F\}$, які гіпотетично можуть виконувати відповідні завдання з викриття стану об'єктів (явищ). Кожний f -й тип засобів оптико-електронного спостереження характеризується відповідною матрицею ймовірностей $\|P_{fj}^{\text{викр}}\|$ вірного викриття (розпізнавання) об'єктів аерокосмічного моніторингу, як функції від їх типу, часу $\tau_{\text{обр}}$ обробки аерокосмічних знімків відповідним програмно-технічним комплексом та старіння $\tau_{\text{інф}}^{\text{стар}}$ інформації про обстановку.

Сформована матриця $\|C_{jn_jf}\|$ економічних витрат що характеризує ресурси необхідні для вирішення завдань з ведення аерокосмічного моніторингу кожного об'єкту n_j -го типу відповідним засобом ОЕСп f -го типу. Елементи матриці $\|C_{jn_jf}\|$ формуються із врахуванням складності викриття відповідного об'єкту, де $C_{jn_jf} = C_f \cdot M_{jm_jf}$; C_{jn_j} , M_{jm_j} – відповідно вартість одного засобу моніторингу m -го типу та їх кількість, яка необхідна для викриття об'єкту відповідного n_j -го типу при виконанні j -го завдання з визначеними показниками оперативності (своєчасності обробки) $P_{n_j \text{потр}}^{\text{соі}}$.

Для вирішення часткових завдань $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ з отримання та обробки даних моніторингу особа, що приймає рішення на інформаційне забезпечення ліквідації лісової пожежі, повинно сформулювати оп-

тимальний набір $S_{\text{опт}}^{\text{акм}} = \|3^{\text{оес}}_{jn_jf}(Q_{jzf})\|$ різнотипних аерокосмічних засобів оптико-електронного спостереження за сукупністю критеріальних функцій виду (1).

Особливістю постановки задачі є ускладнення оптимізації розподілу різнорідних засобів аерокосмічного моніторингу тільки за економічними критеріями. Зокрема, з одного боку, необхідно максимізувати показники ефективності вирішення задач за призначенням (викриття об'єктів моніторингу), а з іншого екстремізувати показники, що характеризують створений комплект засобів $S_{\text{опт}}^{\text{акм}}$, як розподілену підсистему обміну інформацією та складність виконання завдань $P_{\text{свз}}(Q_{jzf}^{\text{оакм}})$ при наданні аерокосмічних послуг.

Тому, кожний з класів засобів аерокосмічного моніторингу під час вирішення j -го завдання характеризуємо сукупністю вагових коефіцієнтів $A_{jzf}^{\text{свз}} \{a_{jzf}^{\text{кз}}, a_{jzf}^{\text{бпла}}, a_{jzf}^{\text{піл}}\}$, що враховують практичні складності виконання моніторингу відповідних об'єктів (явищ) z -го типу, $z = 1, 2, \dots, \infty$. Зокрема, космічні засоби – $a_{jzf}^{\text{кз}}$, засоби на БПЛА – $a_{jzf}^{\text{бпла}}$, пілотовані засоби моніторингу – $a_{jzf}^{\text{піл}}$. По суті коефіцієнти практично враховують при вирішенні задачі (1) працевтрати на реалізацію аерокосмічної зйомки, передачі та обробки іконічної інформації, правові аспекти організації моніторингу (оформлення дозвільних документів).

Введені коефіцієнти складності виконання завдання з моніторингу об'єктів можуть бути узагальнені у вигляді матриць «працевтрат» з виконання завдань космічними засобами $\|a_{jzf}^{\text{кз}}\|$, БПЛА $\|a_{jzf}^{\text{бпла}}\|$, пілотованими засобами $\|a_{jzf}^{\text{піл}}\|$ відповідно класам об'єктів моніторингу.

Акцентуючи увагу на тому, що при застосуванні сформований комплект засобів аерокосмічного моніторингу повинен забезпечити визначений замовником аерокосмічних послуг, рівень інформаційного забезпечення органів боротьби з пожежею про стан об'єктів моніторингу.

При вирішенні (1), є доречним використати метод пониження мірності сукупності критеріальних функцій. При цьому, застосовуючи метод переводу ряду показників задачі векторної оптимізації (1) у ранг обмежень, математична трактовка (1) може бути конкретизована до двукритеріальної задачі мінімізації функцій вигляду:

$$S_{\text{опт}}^{\text{акм}} \left(3^{\text{оес}} \cdot j n_j f (Q_{jzf}) \right) = \left\{ \begin{aligned} & R_{E_i}^{\text{акм}} \left(Q_{jzf} \left(P_{\text{інфзаб}}^{\text{пож}} \left(S_i^{\text{акм}} \right) \right) \right) = \\ & = \sum_{j=1}^m \sum_{z=1}^{n_j} \sum_{f=1}^F C_{jzf} \cdot Q_{jzf} \rightarrow \min \\ & = P_{\text{свз}}(Q_{jzf}) = \sum_{j=1}^{m_{\text{акм}}} \left\langle a_{jzf}^{\text{кз}} \cdot Q_{jzf}^{\text{кз}}(Q_{jzf}) + \right. \\ & \quad + a_{jzf}^{\text{бпла}} \cdot Q_{jzf}^{\text{бпла}}(Q_{jzf}) + \dots \\ & \quad \left. \dots + a_{jzf}^{\text{піл}} \cdot Q_{jzf}^{\text{піл}}(Q_{jzf}) \right\rangle \rightarrow \min \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Враховуючи, що вираз для визначення ймовірності $P_{\text{інфзаб}}^{\text{пож}} S_i^{\text{акм}}$ має вигляд

$$P_{\text{інфзаб}}^{\text{пож}} \left(S_i^{\text{акм}} \right) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{z=1}^{n_j} \sum_{f=1}^F \left(1 - \bar{P}_{jzkf}^{\text{соі}} \right) \cdot \left(1 - \bar{P}_{jzf}^{\text{випр}} \right)}{Q_{jzf}}, \quad (3)$$

сукупність обмежень при обмеженнях на параметри критеріальних функцій (2) може бути записана у вигляді:

$$P_{\text{взс}}^y \left(S_i^{\text{акм}} \right) \geq P_{\text{взс}}^y \text{потр}, \quad (4)$$

$$P_i^{\text{соі}} \left(S_i^{\text{акм}} \right) \geq P_{\text{постр}}^{\text{соі}}, \quad (5)$$

$$\bar{P}_{\text{fn}_j}^{\text{випр}} \geq P_{\text{потр}}^{\text{випр}}, \quad (6)$$

$$D_i \left(S_i^{\text{акм}} \right) \geq D_{\text{потр}}, \quad (7)$$

$$P_{\text{звз}}^{\text{акм}} \geq P_{\text{зад}}^{\text{акм}}, \quad (8)$$

$$C_{j n_j f} \geq 0, f = 1, 2, \dots, F, \quad (9)$$

де $P_i^{\text{соі}} \left(S_i^{\text{акм}} \right)$, $P_{\text{постр}}^{\text{соі}}$ – ймовірність своєчасного отримання та обробки іконічної інформації органами обробки та аналізу при застосуванні i -го варіанту комплекту засобів аерокосмічного моніторингу та її мінімально припустиме значення відповідно;

$P_{\text{fn}_j}^{\text{випр}}$ – ймовірність викриття j -го типу об'єктів моніторингу органами обробки та аналізу при реалізації i -го варіанту комплекту засобів аерокосмічного моніторингу та її мінімально припустиме значення відповідно;

$P_{\text{звз}}^{\text{акм}}$ – ймовірність зв'язності структури підсистеми аерокосмічного моніторингу.

Порядок формування вартісної критеріальної функції складності не викликає. Формалізація функції стійкості може бути проведена за методологією [6]. При цьому при вирішенні задачі оцінки стійкості

управління аерокосмічними засобами необхідно розглянути телекомунікаційну мережу системи моніторингу лісових пожеж у вигляді неорієнтованого графу G . Вершинами графу G є засоби добування та пункти обробки інформації, а його ребра – лінії інформаційного обміну між ними. Тоді, як показано в [6], основним показником стійкості структури аерокосмічного моніторингу є ймовірність $P_{\text{звз}}^{\text{акм}}$ зв'язності між засобами ОЕСп та пунктами обробки (управління). Ймовірність зв'язності по суті є ймовірністю того, що інформація про об'єкти буде передана за час $t \leq t_{\text{зад}}$ з кількістю помилок не більш заданої [6].

Аналіз виразів (1)...(9) дозволяє зробити висновки, що при вирішенні двохкритеріальної задачі мінімізації (2) необхідно обрати метод мінімізації кожної з двохкритеріальних функцій (2) та зробити математичні методи оцінки сукупності обмежень (3)...(8). При цьому, задача обґрунтування раціонального комплекту засобів аерокосмічного моніторингу лісів з метою виявлення пожеж по суті є векторною зворотною задачею оптимального розподілу різномірного ресурсу засобів аерокосмічного моніторингу по об'єктах (явищах) спостереження з метою забезпечення потрібного рівня ефективності виконання аерокосмічних робіт.

Методологічні основи вирішення задач векторної оптимізації досить повно розроблені у вітчизняній та закордонній літературі [2, 5, 7].

Аналіз відомих методів вирішення задач векторної оптимізації типу (2)...(9) показав, що для практичного вирішення задачі обґрунтування раціонального комплекту засобів аерокосмічного моніторингу доцільно обирати адаптивні методи прийняття рішення [2, 7].

Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, постановка задачі (1)...(9) в цілому на методичному рівні дозволяє обґрунтовувати раціональний комплект засобів аерокосмічного моніторингу та способів їх застосування при здійсненні інформаційного забезпечення народногосподарських завдань.

Подальші дослідження щодо розвитку результатів (2)...(5) у практичну площину їх вирішення при плануванні аерокосмічних робіт потребують формалізації наступних етапів:

- визначення меж області «не гірших варіантів» раціонального комплекту засобів (області Парето);
- визначення схеми компромісів особи що приймає рішення (ОПР);

- нормалізації часткових критеріїв ефективності (3) та (4) вирішення завдань аерокосмічного моніторингу та врахування їх пріоритетів.

Найбільш складним питанням є формалізація схеми компромісів особи, що приймає рішення для остаточного вибору раціонального варіанту комплексу засобів та структури підсистеми аерокосмічного моніторингу з множини, так званих, «не гірших варіантів». Причому функція, яка моделює компроміси повинна бути такою, що адаптується до умов обстановки. Одним з пріоритетних напрямків подальших досліджень цього питання є застосування концепції нелінійної схеми компромісів [7].

Література

1. Маноїлов, В.П. Дистанційне зондування Землі із космосу: науково-технічні основи формування й обробки видової інформації [Текст]: моногр. / В.П. Маноїлов, В.В. Омельчук, В.В. Опанюк. – Житомир: ДЖТУ, 2008. – 384 с.
2. Лебедев, А.А. Космические системы наблюдения: синтез и моделирование [Текст] / А.А. Лебе-

дев, О.П. Нестеренко. – М.: Машиностроение, 1991. – 224 с.

3. Воздушная разведка наземных целей беспилотными летательными аппаратами [Текст] / Л.М. Артюшин, Ю.К. Ребрин, В.Б. Толубко, Ю.А. Уваров, Ю.М. Черных. – К.: НАОУ, 2004. – 244 с.

4. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования. [Текст] / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.В. Харченко, В.В. Остащевский. – Х.: Факт, 1997. – 400 с.

5. Большие технические системы: проектирование и управление [Текст] / Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиятдинов, И.А. Попов, А.В. Харченко; под. общ. ред. И.А. Попова. – Х.: Факт, 1997. – 400 с.

6. Барабаш, О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем [Текст] / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.

7. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования [Текст] / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.В. Харченко, В.В. Остащевский. – Х.: Факт, 1997. – 240 с.

Поступила в редакцію 29.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. організації авіаційних робіт і послуг Р.Г. Мнацаканов, Національний авіаційний університет, Київ.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКТА СРЕДСТВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ МАССИВ

А.Н. Козуб, Н.А. Суворова

Проведена постановка задачи векторной оптимизации комплекта средств оптико-электронного наблюдения для аэрокосмического мониторинга лесных массивов для последующего определения на практике методов ее решения, основанные на много альтернативном выборе вариантов, или на специальных алгоритмах. Постановка задачи в целом на методическом уровне позволяет обосновывать рациональный набор средств аэрокосмического мониторинга и способов их применения при осуществлении информационного обеспечения народнохозяйственных задач. Сделаны выводы относительно практического решения задачи рационального комплекта средств наблюдения за лесными массивами с целью выявления пожаров.

Ключевые слова: средства оптико-электронного наблюдения, аэрокосмический мониторинг, оптимизация, комплексирование, комплект средств, эффективность.

OPTIMIZATION SET OF OPTICAL-ELECTRONIC SURVEILLANCE FOR AEROSPACE MONITORING FOREST

A.N. Kozub, N.A. Suvorova

Place setting of the problem of vector optimization of set of opto-electronic observation for aerospace monitoring of forests for the subsequent determination, in practice the methods of its solution, based on a lot of choosing alternative options, or on special algorithms. Formulation of the problem as a whole at the methodological level, allows to justify a rational set of aerospace monitoring and methods of their use in the implementation of information management problems of national economy. The conclusions concerning the practical solution of a rational set of monitoring forests in order to detect fires.

Key words: means of opto-electronic surveillance, aerospace monitoring, optimization, integration, a set of resources, efficiency.

Козуб Андрій Миколайович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри організації авіаційних робіт і послуг, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Суворова Наталія Олександрівна – асистент кафедри організації авіаційних робіт і послуг, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: suv_nat@bigmir.net.