

УДК 681.3(031)

С.В. ЛЕНКОВ<sup>1</sup>, С.А. ШВОРОВ<sup>1</sup>, О.Б. ЛАНТВОЙТ<sup>2</sup>, В.І. КУТАШЕВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка*

<sup>2</sup>*Державна адміністрація прикордонної служби України*

<sup>3</sup>*Київський інститут автоматики*

## МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ ІНТЕНСИВНОЇ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

*У статті пропонується метод оптимального планування інтенсивної підготовки операторів автоматизованих систем контролю повітряного простору, за допомогою якого забезпечується підвищення ефективності проведення тренувань на основі інтенсифікації відпрацювання навчальних завдань. За допомогою розробленого методу на кожному етапі процесу підготовки забезпечується формування та відпрацювання оптимального набору НЗ з урахуванням поточного рівня підготовки операторів й обмежень на їх навантаження.*

**Ключові слова:** *контроль повітряного простору; тренажер оператора автоматизованого комплексу; тренажерна система; імітаційна модель; інтенсивна підготовка.*

### Вступ

Постійне удосконалювання існуючих та розробка нових засобів і автоматизованих систем контролю (АСК) повітряного простору ставить підвищені вимоги до рівня підготовки і злагодженості операторів та осіб, що приймають рішення. Одним із напрямків підвищення рівня підготовки операторів є широке застосування тренажерних засобів та систем (ТС). Однак, існуючі тренажерні засоби операторів АСК повітряного простору, як правило, функціонують у демонстраційному режимі, тобто без врахування динаміки зміни рівня підготовки операторів по виконанню типових навчальних завдань (НЗ). Практика показує, що можливості традиційних методик навчання таких фахівців обмежені і не можуть забезпечити належної інтенсифікації їх підготовки [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** [2, 3] показує, що на даний час планування тренувань базується на інтуїції досвідченого керівника тренувань. Але відсутність науково обґрунтованих методик та математичних методів щодо планування тренувань призводить до нераціонального використання навчального часу та не досить високого збільшення рівня підготовки операторів АСК (диспетчерів управління повітряним, надводним або залізничним рухом та ін.). **Це пов'язано з тим, що** в сучасній літературі не достатньо повно висвітлені методичні основи інтенсивної підготовки операторів АСК, що потребує більш детального розгля-

дання цих питань. Вихід полягає в рішучому повороті від екстенсивних до інтенсивних методик навчання.

**Метою статті** є розробка методичних основ інтенсивної підготовки операторів автоматизованих систем контролю повітряного простору.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Одним із напрямків усунення зазначених недоліків є розробка математичного апарату планування тренувань, за допомогою якого на кожному етапі навчання з урахуванням досягнутого рівня підготовки операторів забезпечується оптимальне планування тренувань та змістовне наповнення процесу відпрацювання НЗ різних типів. При цьому процес функціонування тренажерної системи являє собою керований N-етапний динамічний процес, який на кожному (n-му) етапі характеризується двома видами параметрів - параметрами керування  $\lambda_n$  (інтенсивністю імітації надзвичайних ситуацій для відпрацювання типових НЗ) і параметрами стану  $G_n(\lambda_n)$  (рівнем підготовки операторів АСК по виконанню НЗ) [4 – 6]. У якості обмеження виступає сумарне навантаження на оператора по виконанню типових операцій ( $\rho_{max}$ ), що передбачається можливостями автоматизованого робочого місця АСК.

Як показують результати експериментальних досліджень, прискорене відтворення повітряної обстановки на засобах відображення АСК повітряного простору забезпечує організуючий вплив

емоціогенних факторів. При завантаженні оператора АСК по виконанню навчальних завдань у межах  $\rho_{\min} \leq \rho_i \leq \rho_{\max}$  S-напруженість позитивно впливає на роботу людини-оператора й сприяє максимальному підвищенню його продуктивності [4].

В моделі функціонування ТС, залежно від фактичних рівнів підготовки операторів, визначаються необхідні прогнозовані рівні підготовки з виконання п типів НЗ при відтворенні типових ситуацій з інтенсивністю  $\lambda_n$ . Виходячи з цього, передбачається, що загальний час тренування підрозділяється на N етапів, кожен з яких характеризується певною інтенсивністю відтворення надзвичайних ситуацій  $\lambda_n$  ( $n = \overline{1, N}$ ), на які оператори реагують виконанням типових операцій НЗ на автоматизованих робочих місцях АСК. Інтенсивність потоку ситуацій змінюється від етапу до етапу в наростаючому підсумку:

$$\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n < \dots < \lambda_N. \quad (1)$$

Кінцевою метою тренувань ( $W_N$ ) є досягнення операторами максимально можливого рівня підготовки по виконанню НЗ у найбільш складних умовах повітряної обстановки.

Загалом задача оптимального планування імітованої повітряної обстановки та відпрацювання НЗ різних типів може бути подана наступним чином.

Знайти

$$\max W_N = \sum_{n=1}^N G_n(\lambda_n), \quad (2)$$

при

$$\rho_N = \rho_{\max}, \quad (3)$$

де  $\rho_N$  – навантаження на оператора на протязі N етапів.

Процес підготовки операторів в часі розбивається на N етапів і характеризується переходом рівня їх підготовки з одного стану в інший.

З урахуванням дискретного опису процесу керування цільова функція ефективності підготовки операторів АСК може бути подана сумою

$$W_N = \sum_{n=1}^N G_n(\lambda_n) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_n(\lambda_n), \quad (4)$$

де  $P_n(\lambda_n)$  – рівень підготовки операторів по виконанню n-го типу НЗ після відтворення імітованих тактичних ситуацій з інтенсивністю  $\lambda_n$  на n-му етапі навчання (визначається експериментально);

N – загальна кількість етапів навчання.

Таким чином, необхідно знайти такі параметри імітованих тактичних ситуацій  $\lambda_n$  ( $n = \overline{1, N}$ ) для відпрацювання типових НЗ на кожному етапі щоб максимізувати цільову функцію (4) при наступних обмеженнях:

$$\left. \begin{array}{l} \text{a) } \lambda_n = 0, 1, 2, \dots, \\ \text{b) } \sum_{n=1}^N t_n \lambda_n = \rho_{\max}, \end{array} \right\} \quad (5)$$

де  $t_n$  – час виконання n-го типу НЗ (на n-му етапі навчання).

Для знаходження оптимальних значень  $\{\lambda_n\}$  скористуємося методом динамічного програмування [5, 6].

Позначимо

$$\max_{m_1, \dots, m_r} \sum_{n=1}^r G_n(\lambda_n), \quad (6)$$

при умові

$$\sum_{n=1}^r t_n \lambda_n = \xi \quad (7)$$

через  $\Lambda_r(\xi)$ .

Після нескладних перетворень переходимо до наступного рекурентного співвідношення динамічного програмування

$$\Lambda_r(\xi) = \max_{\lambda_r} \left\{ G_r(\lambda_r) + \Lambda_{r-1}(\xi - t_r \lambda_r) \right\}, \quad (8)$$

( $r = 1, \dots, N$ )

при умові

$$\lambda_{r_{н.ц.}} = \frac{\xi}{t_r}. \quad (9)$$

Характерним для динамічного програмування є визначений методичний підхід, а саме: процес планування імітованої повітряної обстановки поділяється на N етапів і здійснюється послідовна оптимізація кожного з них.

На кожному r-му етапі з урахуванням усіх можливих припущень результатів попереднього етапу обчислюється основне рекурентне співвідношення (8) та визначається умовний оптимальний параметр керування  $\lambda_r$ .

Прийнявши  $\xi = \rho_{\max}$  та припустивши у (8)  $r=N$ , приходимо до співвідношення

$$\begin{aligned} \Lambda_N(\xi = \rho_{\max}) &= \\ &= \max_{\lambda_N} \left\{ G_N(\lambda_N) + \Lambda_{N-1}(\rho_{\max} - t_N \lambda_N) \right\} \end{aligned} \quad (10)$$

при умові

$$\lambda_{N_{н.ц.}} = \frac{\rho_{\max}}{t_N} \quad (11)$$

Знайшовши з (10) оптимальне значення  $\lambda_{N_{\text{opt}}}$  та припустивши

$$\xi_1 = \rho_{\max} - t_N \lambda_{N_{\text{opt}}}(\rho),$$

послідовно, починаючи з (N-1)-го етапу, знаходять оптимальні значення решти змінних:

$$\lambda_{N-1}, \lambda_{N-2}, \dots, \lambda_1.$$

Необхідно відзначити, що метод динамічного програмування являє собою направлений послідовний перебір варіантів, що обов'язково приводить до глобального максимуму й оптимального вирішення задачі (2).

Для досягнення кінцевої мети ( $W_N$ ) з використанням вищезазначеного методу підготовляється оптимальний план поетапного відпрацювання типових НЗ.

На основі застосування адаптивних тренажерних систем операторів АСК для кожного етапу тренувань, поки мета ( $W_N$ ) не досягнута, повторюється наступна послідовність дій:

– відповідно до оптимального плану здійснюється відтворення необхідної імітованої обстановки для послідовного відпрацювання такого набору типових НЗ, при якому забезпечується досягнення необхідного (максимального) рівня підготовки операторів;

– на основі порівняння поточного рівня підготовки операторів по виконанню типових задач із необхідним приймається рішення про подальший хід тренування. Якщо поточний рівень не нижче необхідного – тренування продовжується. В інших випадках, в залежності від досягнутого рівня підготовки операторів на n-му етапі, виникає необхідність в адаптивній зміні (повторній оптимізації) плану відпрацювання різних типів НЗ. З цією метою для кожного етапу тренувань (починаючи з n-го) забезпечується формування оптимального набору відпрацювання НЗ з урахуванням поточного рівня підготовки операторів АСК.

## Висновки

Таким чином, за допомогою розробленого методу на кожному етапі процесу підготовки забезпечується формування та відпрацювання оптимального набору НЗ з урахуванням поточного рівня підготовки операторів й обмежень на їх навантаження.

При цьому забезпечується досягнення максимального рівня підготовки операторів автоматизованих систем контролю повітряного простору по виконанню типових навчальних завдань у найбільш складних умовах повітряної обстановки.

## Література

1. Михайленко В.П. Концептуальні основи побудови тренажерно-моделюючих систем підготовки фахівців автоматизованих комплексів контролю повітряного простору / В.П. Михайленко, О.А. Михайленко, С.А. Шворов // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка (ювілейний випуск). – К.: Київський університет, 2003. – С. 123-127.
2. Михайленко А.П. Про особливості та перспективи імітації радіолокаційної обстановки в інформаційних системах ППО / А.П. Михайленко, П.М. Сніцаренко, О.А. Михайленко // Наука і оборона. – 1998. – № 2. – С. 67-91.
3. Герасимов Б.М. Методика комплексної оцінки і вибору раціонального варіанту тренажерно-імітаційного комплексу / Б.М. Герасимов, О.Ю. Казанцев // Вісник ВІПІ НУТУ «КПІ», 2002. – № 3. – С. 23-28.
4. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек - техника / Г.П. Шибанов. - М.: Машиностроение, 1983. – 263 с.
5. Зайченко Ю.П. Исследование операций: учеб. пособие для студентов вузов. – 2-е изд., перераб и доп. / Ю.П. Зайченко. – К.: Вища школа, 1979. – 392 с.
6. Зайченко Ю.П. Исследование операций: Сборник задач. – 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.П. Зайченко, С.А. Шумілова. - К.: Вища школа, 1990. – 239 с.

Надійшла до редакції 30.03.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., провідний науковий співробітник В.В. Зубарев, Науково-дослідний центр Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ.

**МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОЙ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА**

*С.В. Ленков, С.А. Шворов, О.Б. Лантвойт, В.И. Куташев*

В статье предлагается метод оптимального планирования интенсивной подготовки операторов автоматизированных систем контроля воздушного пространства, с помощью которого обеспечивается повышение эффективности проведения тренировок на основе интенсификации отработки учебных задач. С помощью разработанного метода на каждом этапе процесса подготовки обеспечивается формирование и отработка оптимального набора УЗ с учетом текущего уровня подготовки операторов и ограничений на их нагрузку.

**Ключевые слова:** контроль воздушного пространства; тренажер оператора автоматизированного комплекса; тренажерная система; имитационная модель; интенсивная подготовка.

**METHOD OF OPTIMUM PLANNING OF INTENSE TRAINING OF MECHANIC OF AUTOMATED  
VERIFICATION SYSTEM OF AIR SPACE**

*S.V. Lenkov, S.A. Shvorum, O.B. Lantvoit, V.I. Kutashev*

In article the method of optimum planning of intense training of mechanic of automated verification system of air space with its help the efficiency upgrading of carrying out of trainings on the basis of an intensification of labour-rent of educational problems is provided. With the help of developed method for every apiece of grade of preparation formation of an optimum set EA taking into account current level of training of operators and restrictions of their loading is provided.

**Keywords:** air space control, operator training simulator, training system, simulating model, intense training.

**Ленков Сергій Васильович** – д-р техн. наук, професор, начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, e-mail: lenkov\_s@ukr.net.

**Шворов Сергій Андрійович** – д-р техн. наук, старший науковий співробітник, професор кафедри тактики та оперативного мистецтва Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна.

**Лантвойт Олег Борисович** – канд. техн. наук, доцент, заступник голови Державної адміністрації прикордонної служби України, Київ, Україна.

**Куташев Владислав Ігорович** – здобувач, молодший науковий співробітник Київського інституту автоматизації, Київ, Україна.