

М. А. Павленко¹, С. Г. Шило¹, О. М. Дмитрієв²

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

²Кіровоградська льотна академія національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

В роботі представлено підходи до розробки моделі функціональної діяльності оператора автоматизованої системи управління повітряним рухом (АС УПР). Модель враховує обов'язкові етапи та дії операторів по оцінці обстановки, що складається в зоні відповідальності. Запропоновано граф схему для опису подій, дій та переходів в процесі функціональної діяльності. Наведено аналітичні вирази, які пояснюють порядок отримання кількісних характеристик окремих складових моделі. Отримано площинну ієрархічну модель діяльності оператора АС УПР. Запропонована модель дозволяє більш точно визначити структуру діяльності оператора, виділити основні матеріальні та нематеріальні сторони діяльності оператора. При цьому основні однотипні дії оператора виділяються в рамках єдиної площини і можуть бути піддані вивченню самостійно та відособлено і при подальшому уточненні характеристик діяльності знову можуть включатися в розроблювану модель. Наведена модель дозволяє реалізувати переваги методу поетапного моделювання як до всієї моделі в цілому, так і щодо кожної площини окремо. Це має в підсумку дозволити підвищити точність і адекватність побудови моделі діяльності оператора.

Ключові слова: особа, що приймає рішення; функціональна діяльність; система підтримки прийняття рішень; інформаційна модель, засоби відображення інформації; орієнтовний граф; площинна ієрархічна модель.

Вступ

Автоматизація процесів інформаційного забезпечення діяльності операторів на пунктах управління займає центральне місце, при вирішенні комплексної проблеми автоматизації процесів управління повітряним рухом. Одними з вирішальних умов організації та успішного реагування на зміни ситуацій повітряної обстановки є обґрунтоване і своєчасне прийняття рішень по управлінню повітряним рухом [1, 2, 5-7]. Діяльність операторів автоматизованих систем управління протікає в умовах невизначеності і динамічності змін ситуацій повітряної обстановки; дефіциту часу на вироблення управлінських рішень; інформаційного перевантаження.

Постановка проблеми. Вдосконалення процесів прийняття рішень операторами АС УПР є двоєдиним завданням. З одного боку, необхідно удосконалювати способи обробки та аналізу інформації для системи підтримки прийняття рішень. З іншого боку, потребують вдосконалення методи синтезу та інтерпретації інформаційних моделей (ІМ) для інформаційної підтримки прийняття рішень операторів АС УПР. При цьому виникає проблема адекватного подання процесу функціональної діяльності операторів АС УПР для можливості подальшої формалізації процесів підтримки прийняття рішень операторів в АС УПР.

Аналіз остатніх досліджень і публікацій. Діяльність операторів в складних ергатичних системах, достатньо повно досліджена в ряді робіт, присвячених проблематиці ергономіки та інженерної психології [2-9]. Згадані роботи дозволяють отримати формалізовані описи функціональної діяльності при вирішенні задач управління в складних системах. В роботі [6] запропоновано виділити основні та допоміжні дії операторів в процесі сприйняття та оцінки інформації, а також отримано аналітичні вирази для оцінок часових характеристик процесу інформаційного пошуку.

Відкритими та недостатньо розглянутими є питання отримання моделей функціональної діяльності осіб, що приймають рішення (ОПрР), які б дозволяли прозоро враховувати структурні елементи діяльності оператора та при цьому надавали можливість досліджувати, змінювати або модифікувати лише окремі риси моделі, не порушуючи при цьому цілісність і характер інших складових загальної моделі діяльності.

Розроблені раніше моделі діяльності оператора АС УПР не дозволяють досліджувати, змінювати або модифікувати лише окремі риси часткових складових моделі, не порушуючи при цьому цілісність і характер інших складових загальної моделі [1-10].

Метою статті є розробка моделі діяльності оператора АС УПР, яка враховує етапи функціональної діяльності по оцінці обстановки, що складається в зоні відповідальності. Модель має дозволити враховувати структурні елементи діяльності оператора та отримувати кількісні характеристики окремих дій в процесі оцінки обстановки.

Виклад основного матеріалу дослідження

Під терміном діяльність оператора АС УПР мається на увазі логічна послідовність дій, згідно з функціональними обов'язками особи, що приймає рішення в АС УПР. При цьому кожна дія має кількісну характеристику.

Діяльність оператора в системі управління повітряним рухом включає такі основні етапи [2, 5]: сприйняття інформації про об'єкти, процеси та явища; переробка інформації; формування концептуальної моделі (КМ); аналіз концептуальної моделі; адаптація і модифікація концептуальної моделі; прийняття рішення про необхідні дії; виконавчі дії.

У кожному з цих етапів, в свою чергу, можна виділити елементарні дії (операції): фіксація погля-

ду і впізнання характеристики; переробка інформації і прийняття рішення; переміщення погляду в межах інформаційного поля засобу відображення інформації (ЗВІ); переміщення погляду від одного ЗВІ до іншого; перекодування інформації у внутрішній алфавіт; перекодування в алфавіт концептуальної моделі; виконавчі дії, тощо.

Слід зазначити, що такі функціональні операції діяльності ОПРР як формування і модифікація КМ дуже важко піддаються опису і адекватному відображенню в моделі, тому при її розробці виникає необхідність введення уявних вершин, які відповідають операціям роботи з КМ. Це, в свою чергу, дозволяє врахувати витрати часу на підготовку прийняття рішення, що в відомих моделях часто не підлягає врахуванню безпосередньо, а це в свою чергу вносить похибки в отримані результати. Для систем реального часу, таких як АС УПР даний чинник може мати критичне значення.

Алгоритм розв'язання задачі оператором може бути поданий в операторній формі, у вигляді блок-схеми або у вигляді граф-схеми [8]. Останній спосіб представлення алгоритму, поряд з наочністю дозволяє проводити кількісну оцінку діяльності оператора і найкращим чином задовольняє цілям дослідження.

Множина дуг графа позначається через U . Множина цілком визначає відображення графа і навпаки Γ , цілком не визначає U , тому граф можна записати у вигляді: $G = (X, U)$.

При побудові граф-схеми моделі діяльності оператора АС УПР слід врахувати, що в реальній обстановці оператор може часто повторювати виконання деяких операцій декілька разів, і навіть повертатися до тих операцій, які вже були виконані. В цьому випадку в графі з'являються петлі і контури.

Очевидно, що наявність петлі призводить до послідовного виконання однієї і тієї ж операції, повторне виконання якої має характеризувати ймовірністю реалізації петлі P_n .

Середній час виконання операції при наявності петлі визначається як [3]:

$$\bar{t}_x = \sum_j (t_x + j t'_x) P_n^j,$$

де t_x – час виконання операції x за відсутності петлі, t'_x – час повторного виконання операції x , $j = 1, 2, \dots, n$ – число реалізацій петлі.

Також при реалізації діяльності оператора в виді графа можуть виникати контури [6]. Контуром є кінцевий шлях $\mu_1 = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_1]$, у котрого початкова вершина співпадає з кінцевою [4]. Шлях $\mu_1 = [x_a, x_2, x_3, x_4, x_5, x_k]$, на котрому всі операції повинні бути виконані з імовірністю $P_\mu = 1$ є основним. Шлях μ_1 при розв'язанні задачі оператором може виникати з імовірністю $P_k > 0$ в тому випадку, коли після виконання операцій на шляху $\mu' = (x_1, x_2, x_3) \in \mu$ виконується множина операцій $x \notin \mu$, але $x \in \mu_1$. Ймовірність та число повторення

операцій на μ_1 визначається характером задачі, яка вирішується, структурою інформаційного поля ЗВІ, психофізіологічними особливостями оператора, тощо.

В динаміці рішення задачі операції на μ_1 виконуються послідовно за операціями на μ' . Час їх виконання складає:

$$t_{\mu_1} = \sum_{t_{x_i} \in \mu_1} t_{x_i},$$

де t_{x_i} – час виконання x_i -ї операції.

Кількість операцій x_i при рішенні y_k задачі визначається тим, які ЗВІ використані для побудови інформаційної моделі. Окрім цього вибір ЗВІ впливає на кількість операцій x'_j і x''_s .

Через $X = x^* \cup x' \cup x''$ позначається множина всіх операцій, котрі необхідно виконати при вирішенні задачі y_k , використовуючи всі можливі комплекси ЗВІ. Будь яка підмножина операцій $x \subset X$, при виконанні котрих задача y_k може бути вирішена, позначаються через x^+ .

Порядок побудови графа рішення задачі управління при використанні всіх можливих комплексів ЗВІ буде наступним.

Спочатку для кожного комплексу ЗВІ будується алгоритм рішення задачі y_k управління в виді орієнтованого графу $G = (x_i^*, \Gamma)$. Далі проводиться об'єднання усіх G_i :

$$G(X, U) = \bigcup_i G_i,$$

де $X = \{x_i\} = \bigcup_i x_i^+$ – множина вершин, $U = \{u_{ij}\}$ – множина дуг u_{ij} , в графі G . Множина X включає в себе x_a і x_k , для котрих справедливо:

$$\Gamma^{-1}x_a = \emptyset, \Gamma x_k = \emptyset.$$

Отриманий таким чином граф G володіє наступною властивістю: для кожної дуги $u_{ij} \in$ хоча б один шлях μ_e із початкової вершини x_a в кінцеву x_k , котрий включає дану дугу.

Приклад моделі діяльності оператора АС УПР у вигляді орієнтованого графу, що побудовано з дотриманням правил зазначених раніше наведено на рис 1. Інтерпретацію вершин та дуг побудованої моделі діяльності оператора АС УПР наведено в табл. 1 та 2 відповідно.

Для виду діяльності оператора, що досліджується, процес сприйняття інформації фактично зводиться до інформаційного пошуку, тобто до знаходження в ІМ об'єктів (ознак), що характеризують властивості обстановки, яка складається. До таких ознак можуть належати наприклад вихід повітряного судна з повітряного коридору, порушення порядку ешелонування, конфліктна ситуація в ближній зоні аеродрому, тощо.

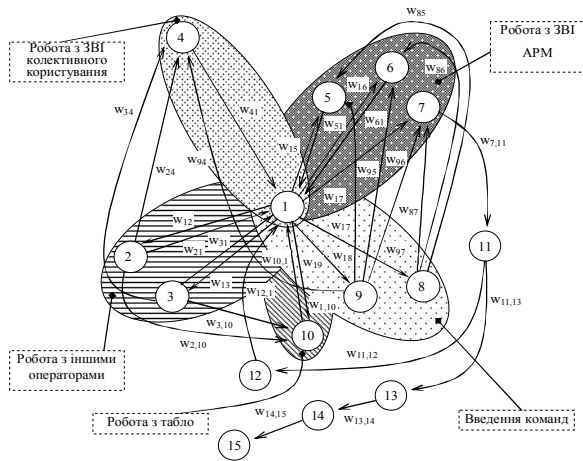


Рис. 1. Модель діяльності оператора АС УПР

Таблиця 1 – Події моделі діяльності оператора

Подія	Зміст події
1	Початок роботи ОПРР
2, 3	Взаємодія ОПРР з іншими операторами
4	Аналіз інформації, котра відображується на ЗВІ КК виконано
5	Аналіз загальної інформації, котра відображується на екрані АРМ виконаний
6	Аналіз узагальненої інформації на екрані АРМ виконаний
7	Аналіз інформації котра подана в ІМ виконаний
8	Введення інформації з клавіатури проведено
9	Введення інформації з використанням маніпулятора миша проведено
10	Додаткова інформація з планшетів і табло сприйнята
11	Оцінка інформації виконана
12	Рішення не прийнято
13	Рішення прийнято
14	Моторна дія виконана
15	Рішення задачі завершено

Таблиця 2 – Інтерпретація вершин моделі діяльності оператора

Переходи	Дії, котрі виконує оператор при переході з одного стану в інший
$w_{4,1}, w_{5,1}, w_{6,1}$	Сприйняття оператором інформації на ЗВІ КК та на екрані АРМ
$w_{10,1}$	Сприйняття оператором додаткової інформації, котра відображується за допомогою планшетів и табло
$w_{11,12}, w_{11,13}$	Прийняття рішення
$w_{13,14}$	Підтвердження команди на прийняття рішення
$w_{14,15}$	Кінець рішення задачі

Поряд з основними операціями сприйняття і оцінки інформації, що відображується ОПРР видає розпорядження та приймає доповіді про результати рішення часткових задач іншими операторами АС УПР. Умовно такі дії можуть бути визначені як допоміжні [5]. Таким чином час оцінки обстановки t_{OBO} залежить від часу пошуку інформації t_{un} та часу виконання допоміжних дій t_e :

$$t_{OBO} = t_{un} + t_e.$$

Час інформаційного пошуку є складною функцією ряду аргументів [4, 6]:

$$t_{un} = f(N, p_a, ПФ),$$

де N – осяг інформаційного поля (загальне об’єктів); p_a – апіорна ймовірність успіху на 1-му кроці пошуку; $p_a = M/N$, де M – число об’єктів, що відшукуються та володіють заданими ознаками; ПФ – психологічні фактори, що стосуються організації засобів відображення і роботи ОПРР з ними (яскравість зображення B , контрастність K , кутові розміри поля Θ і знаків ϑ , тактика пошуку T , тощо).

Аргументи останньої групи можуть вважатися постійними для системи, яка розглядається. Відповідно необхідно визначити залежність часу t_{un} від наступних аргументів:

$$t_{un} = \phi(N, p_a) = \phi(N, M).$$

При обробці інформації, яка представлена на ЗВІ, час який витрачається на одну фіксацію погляду на об’єкті, майже не залежить від того цільовий чи фоновий об’єкт фіксується оком. В залежності від умов сприйняття час фіксації погляду складає: $t_{\phi} = 0,025, \dots, 0,65$ с і більше [2].

В ряді досліджень [2, 5, 6] показано, що для орієнтовної оцінки часу пошуку інформації в ІМ, можна використовувати вираз:

$$\bar{t}_{un} \cong \frac{N+1}{M+1} \bar{t}_{\phi}.$$

Час виконання допоміжних дій (t_e) також являється складною функцією ряду аргументів:

$$t_e = f(\bar{t}_{p,k}, \bar{t}_{op,k}, p_k),$$

де $\bar{t}_{p,k}$ - час видачі розпоряджень про підготовку необхідних даних і прийом доповідей при вирішенні k -ої допоміжної задачі при оцінці обстановки ($k = 1, 2, \dots, K$); $\bar{t}_{op,k}$ - час рішення k -ої допоміжної задачі;

p_k – апіорна ймовірність виникнення k -ої допоміжної задачі. Досвід розробки моделі (рис. 1) дає підстави для формування удосконаленого підходу щодо моделювання діяльності оператора АС УПР.

При розробці моделі окремим етапом необхідно виділити наступні характерні структурні елементи діяльності оператора: рецепторна діяльність; інтелектуальна діяльність; психомоторна діяльність; фактори, що впливають на діяльність (шум, температура, вологість, тиск, забрудненість, тощо).

Структурі діяльності оператора властива деяка невизначеність в послідовності етапів переробки інформації та вироблення рішень. Тому структура діяльності оператора не може розглядатися як алгоритм його діяльності. Вона відображає тільки основні етапи, які не передбачаючи і не визначаючи їх послідовність і результати, одержувані після виконання кожного з етапів.

Виділення в діяльності оператора деяких відокремлених етапів (структурних елементів) дозволяє

розділити його діяльність на «шари» або «площини», що відповідають особливостям діяльності оператора і характеризуються певними операціями, що виконуються оператором. Таким чином, операції представлені в табл. 1, можна розділити на операції, пов'язані зі сприйняттям інформації, взаємодією із засобами управління комплексу засобів автоматизації, тощо. Тоді модель, діяльності ОПрР, яку наведено на рис. 1, можна представити у вигляді площинної ієрархічної моделі наступним чином (рис. 2).

Позначки на отриманій площинній ієрархічній моделі відповідають операціям наведеним на графі (рис. 1) та в табл. 2. При цьому на відміну від графової моделі площинна ієрархічна модель діяльності дозволяє відображати основні сторони діяльності оператора зазначені раніше. Зв'язки між площинами мають логічний характер і відображають логіку переходів. При уточненні та деталізації моделі діяльності оператора даним зв'язкам можуть бути приписані різні характеристики, наприклад, значення ймовірності переходу між операціями (площинами) або витрати часу на переходи між ними.

При такому поданні моделі діяльності оператора стає можливим прозоро розглядати структуру його діяльності. Також виникає дуже корисна властивість щодо можливості досліджувати, змінювати або модифікувати лише окремі площинні моделі, не порушуючи при цьому цілісність і характер інших площин. Аналіз діяльності оператора з використанням площинної ієрархічної моделі дозволяє більш точно визначити структуру діяльності оператора, виділити основні матеріальні (об'єкти управління, засоби відображення інформації, елементи керування, тощо), а також нематеріальні (інтелектуальні, вольові, емоційні) сторони діяльності оператора. При цьому основні однотипні дії оператора виділяються в рамках єдиної площини і можуть бути піддані вивченню самостійно і відособлено і при подальшому уточненні характеристик діяльності знову можуть включатися в розроблювану модель.

При цьому модель на площині може бути: простою (є множина окремих однотипних операцій не пов'язаних між собою). Кожна операція має зв'язки тільки з елементами або групами елементів інших площин; складною (мається множина окремих однотипних операцій пов'язаних між собою). Можуть мати місце зв'язки як окремої операції, так і групи операцій з елементами або групами елементів інших площин; змішаною (мається множина окремих однотипних операцій, як пов'язаних, так і не пов'яза-

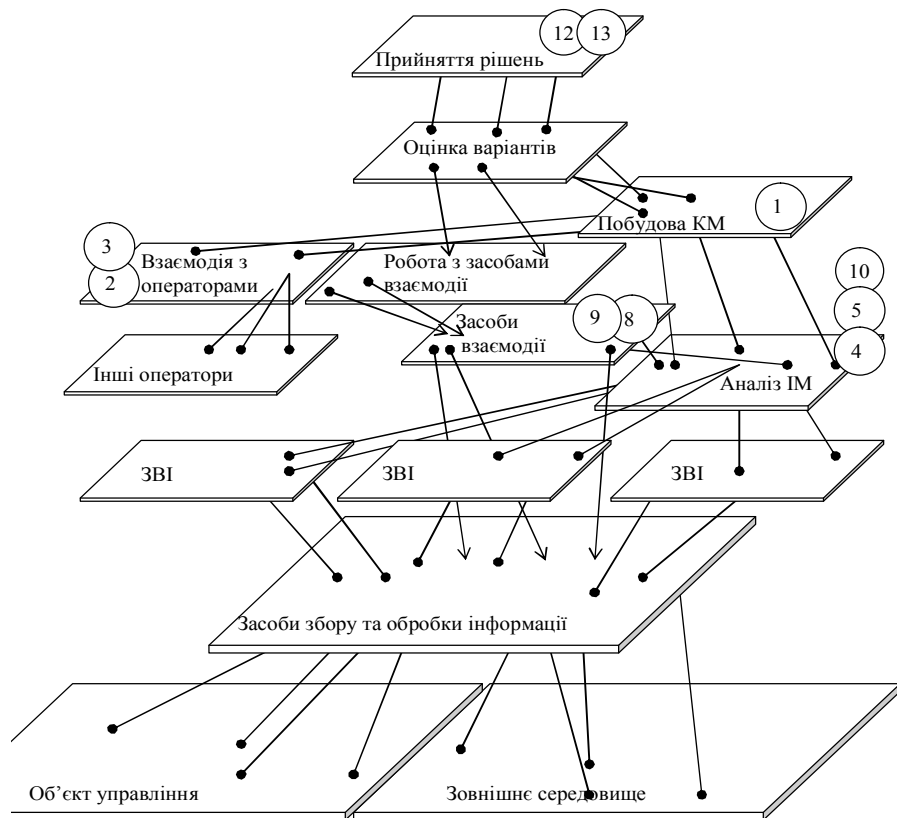


Рис. 2. Варіант площинної ієрархічної моделі діяльності оператора

них між собою). Можуть мати місце зв'язки як окремої операції, так і групи операцій з елементами або групами елементів інших площин.

Таким чином, при використанні запропонованого підходу до побудови моделі діяльності оператора можуть бути реалізовані всі переваги методу поетапного моделювання як щодо всієї моделі в цілому, так і щодо кожної площини окремо. Це має в підсумку дозволити підвищити точність і адекватність побудови моделі діяльності оператора в цілому.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Значні витрати часу на оцінку обстановки ОПрР в АС УПР пов'язані з недоліками інформаційного забезпечення діяльності оператора. До основних з них належать недостатньо повний облік специфіки діяльності оператора при проектуванні системи інформаційних моделей, в тому числі і АРМ та неузгодження ергономічних властивостей інформаційних моделей з властивостями оператора. Існуючі моделі для подання процесу функціональної діяльності операторів АС УПР не дозволяють в повній мірі враховувати специфіку вирішення професійних задач, що не дозволяє досліджувати, змінювати або модифікувати лише окремі риси часткових складових моделі, не порушуючи при цьому цілісність і характер інших складових загальної моделі

Запропонована модель враховує етапи функціональної діяльності оператора по оцінці обстановки, що складається в зоні відповідальності та дозволяє враховувати структурні елементи діяльності оператора та отримувати кількісні характеристики окремих дій в процесі оцінки обстановки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Карлов В. Д. Разработка процедуры оценки опасности оперативно-тактической обстановки / В.Д. Карлов, М.А. Павленко, Н.А. Королюк // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Вип. 3(9). – Харків: ХУ ПС, 2012. – С. 110–113.
2. Павленко М. А. Метод анализа деятельности оператора автоматизированных систем управления воздушным движением / М.А. Павленко, П.Г. Бердник, И.Ю. Хромов // Системи обробки інформації. – Харків: ХУ ПС.- 2007.- Вип. 1(59).- С. 78-81.
3. Павленко М.А. Метод формализации знаний о процессе распознавания ситуаций нарушения правил движения воздушными судами / М.А. Павленко// Системи управління, навігації і зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2012. – Вип. 2(22). – С. 86-92.
4. Полонський Ю. І. Формалізований опис процесу відбору інформаційних ознак для формування моделі повітряної обстановки / Ю.І. Полонський, І.О. Борозенець, С.Г. Шило, М.І. Литвиненко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил – 2016. – № 2. – С. 115-117.
5. Полонський Ю. І. Метод відбору інформаційних ознак для формування моделі повітряної обстановки / Ю.І. Полонський, І.О. Борозенець, С.Г. Шило // Системи управління, навігації та зв'язку – Полтава, Полтавський національний технічний університет, 2015. – Вип. 3(35). – С. 109-112.
6. Павленко М. А. Розподіл часу оцінки повітряної обстановки особою, що приймає рішення, в диспетчерській службі єдиної системи управління повітряним рухом / М. А. Павленко, С. Г. Шило, І. О. Борозенець, Ю. І. Полонський // Системи обробки інформації. – 2016. – № 8. – С. 37-39.
7. Шмелева Т. Ф. Формализация деятельности человека-оператора авиационной эргатической системы во внештатных ситуациях / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №. 5. – С. 296–300.
8. Кондратенко С. В. Методы анализа и моделирования деятельности операторов в процессе эргономического обеспечения разработки и эксплуатации человеко-машинных комплексов / С.В. Кондратенко, В.В. Спасенников // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – №. 1. – С. 87.
9. Шило С. Г. Модель оцінки оперативної обстановки надзвичайної ситуації оперативно-диспетчерською службою МНС / С.Г. Шило, А.Б. Фещенко та інш. // Збірник наукових праць УЦЗ України. – 2009. – Вип. 9. – С. 170-176.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. І. Тимочко,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

Received (Надійшла) 18.05.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.07.2018

**Модель функциональной деятельности оператора
автоматизированной системы управления воздушным движением**

М. А. Павленко, С. Г. Шило, О. Н. Дмитриев

В работе представлены подходы к разработке модели функциональной деятельности оператора автоматизированной системы управления воздушным движением (АС УВД). Модель учитывает обязательные этапы и действия операторов по оценке обстановки, которая складывается в зоне ответственности. Предложено граф схему для описания событий, действий и переходов в процессе функциональной деятельности. Приведены аналитические выражения, которые объясняют порядок получения количественных характеристик отдельных составляющих модели. Получено плоскостную иерархическую модель деятельности оператора АС УВД. Предложенная модель позволяет более точно определить структуру деятельности оператора, выделить основные материальные и нематериальные стороны деятельности оператора. При этом основные однотипные действия оператора выделяются в рамках единой плоскости и могут быть подвергнуты изучению самостоятельно и обособленно и при дальнейшем уточнении характеристик деятельности вновь могут включаться в разрабатываемую модель. Приведенная модель позволяет реализовать преимущества метода поэтапного моделирования как во всей модели в целом, так и по каждой плоскости отдельно. Это должно в итоге позволить повысить точность и адекватность построения модели деятельности оператора.

Ключевые слова: лицо, принимающее решение; функциональная деятельность; система поддержки принятия решений; информационная модель, средства отображения информации; ориентированный граф; плоскостная иерархическая модель.

Model of functional activity of the operator of the automated air traffic control system

M. Pavlenko, S. Shylo, O. Dmitriyev

The paper presents approaches to the development of the functional activity model for the operator of an automated air traffic control system (ATC AT). The model takes into account the mandatory steps and actions of operators in assessing the situation, which is formed in the area of responsibility. A graph is proposed for describing events, actions and transitions in the process of functional activity. Analytical expressions are given that explain the order of obtaining the quantitative characteristics of the individual components of the model. A planar hierarchical model of the ATC operator's activity was obtained. The proposed model allows to more accurately determine the structure of the operator's activity, to identify the main material and non-material aspects of the operator's activity. At the same time, the operator's main activities of the same type are singled out within a single plane and can be studied independently and separately, and with further specification of the characteristics of the activity can again be included in the developed model. The given model allows to realize the advantages of the method of stage-by-stage modeling both for the whole model as a whole and for each plane separately. This should eventually increase the accuracy and adequacy of constructing the operator's activity model.

Keywords: the person making the decision; functional activity; decision support system; information model, means of information display; oriented graph; planar hierarchical model.