

N. T. Dehtyaruk, V. M. Cherevyk, O. V. Ochrimenko

ANALYSIS OF ERRORS OF POSITIONING OF TERRITORIAL OBJECTS BY MEANS OF SATELLITE NAVIGATION

Current article analyzes modern satellite navigation systems used for positioning different ground objects. It describes the technology of determining the coordinates of ground objects with using a global satellite navigation system. The main sources of errors in the calculation of the accuracy of GPS navigation messages are analyzed. It is shown that the main sources of error that affect the accuracy of navigation computations in GPS systems are: errors related to the spread of radio waves in the ionosphere and troposphere; errors that are caused by discrepancies between the actual position of the GPS satellite and its estimated position, which is determined by the data of the navigation signal transmitted from the satellite; satellite bias error caused by divergence of time scales of different satellites; the magnitude of the error also depends directly on the meteorological parameters (pressure, humidity, temperature), as well as on the architectural features of the building where the GPS receiver is located.

Depending on the source of the error, there are also ways to correct it. Most often used methods are algorithmic (software) correction methods of localization errors, such as: the method of differential correction, the method of improving the accuracy due to observations from several satellites, the method of averaging data based on the Kalman filter, etc. Software methods can significantly improve data accuracy, but they require further improvement and high processing power.

Keywords: satellite navigation systems; monitoring of the earth's surface; methods of processing navigation data; positioning errors of terrestrial objects.

УДК 004:681.518

DOI: 10.31673/2412-9070.2019.050712

М. А. ПАВЛЕНКО¹, доктор техн. наук, професор;

С. Г. ШИЛО¹, канд. техн. наук, доцент;

О. М. ДМІТРІЄВ², канд. техн. наук,

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил Івана Кожедуба

² Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ СИТУАЦІЙНОМУ АНАЛІЗІ ПОВІТРЯНОЇ ОБСТАНОВКИ В ЦЕНТРАХ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

Пропонується інформаційна технологія для інтелектуальної підтримки прийняття рішення операторами центрів обслуговування повітряного руху. За своїм складом, змістом та побудовою запропонована інформаційна технологія забезпечує інформаційну підтримку прийняття рішень в динаміці можливих змін ситуацій обстановки. Як ресурсне забезпечення функціонування інформаційної технології запропоновано інтелектуальні моделі та методи ситуаційного аналізу обстановки, що отримано авторами в ході досліджень процесів інформаційного забезпечення діяльності осіб, що приймають рішення в центрах обслуговування повітряного руху. На відміну від відомих, запропонована інформаційна технологія дозволяє враховувати відмінності в складі інформації про ситуацію обстановки від різноманітних джерел при попередній обробці вхідних даних. На наступному етапі передбачається формування та уточнення множин ознак, що мають різний ступінь значимості. На основі поточних ознак ситуації обстановки та даних передісторії спостережень здійснюється розпізнавання ситуації обстановки, що складається в зоні відповідальності органу керування. Інтелектуальні правила розпізнавання ситуацій можуть підлягати модифікації залежно від ознак поточної ситуації та передісторії спостережень. Результатом функціонування запропонованої інформаційної технології є інформаційна модель, що забезпечує прийняття рішення оператором. За необхідності особа, що приймає рішення, може втручатися в процеси обробки та перетворення інформації на будь-якому етапі функціонування. У підсумку використання запропонованої інформаційної технології сприяє підвищенню оперативності та обґрунтованості прийняття рішень диспетчерами центрів обслуговування повітряного руху.

Ключові слова: інформаційна технологія; інтелектуальні методи та моделі; ситуаційний аналіз; повітряна обстановка; оператор.

Вступ

Аналіз розвитку та вдосконалення системи авіаційних перевезень провідних авіаперевізників розвинених країн світу свідчить про стрімкий розвиток цього сегменту ринку. За останні три роки, обсяги пасажирських перевезень України збільшились майже вдвічі та більш як у півтора рази перевищили рівень «докризового» 2013 року [1–5].

Зважаючи на сучасні темпи розвитку галузі авіаперевезень, постійної уваги потребують пи-

тання вдосконалення організації обслуговування повітряного руху із забезпеченням необхідного рівня безпеки для всіх суб'єктів процесу. Вирішення низки нагальних питань керування повітряним рухом показує, що в сучасних умовах першочергового удосконалення потребують процеси інформаційного забезпечення прийняття рішень посадовими особами на пунктах керування повітряним рухом [6–8].

Обмежені можливості існуючих методів та моделей ситуаційного аналізу обстановки в центрах

© М. А. Павленко, С. Г. Шило, О. М. Дмитрієв, 2019

обслуговування повітряного руху (ОПР), які реалізовані за допомогою відповідних інформаційних технологій, в складних умовах обстановки, що динамічно змінюється, не дозволяють досягати необхідних вимог до повноти та обґрунтованості оцінки ситуацій обстановки особами, що приймають рішення (ОПрР). Дані протиріччя ініціювали наукову проблему щодо необхідності підвищення оперативності проведення ситуаційного аналізу повітряної обстановки особами, що приймають рішення за рахунок використання інтелектуальних інформаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням удосконалення системи інформаційного забезпечення діяльності осіб, що приймають рішення при керуванні складними ергатичними системами приділяється достатньо уваги. Запропоновані авторами підходи до варіантів реалізації інформаційних технологій, що забезпечують підтримку прийняття рішень операторів АСУ передбачають використання методів диференційного числення, теорії прийняття рішень, штучного інтелекту, теорії перевірки статистичних гіпотез [9-18].

Однак запропоновані підходи відповідають тільки цілком визначеній вузькій предметній галузі, математичні методи та моделі, що реалізовано у запропонованих технологіях, дозволяють проводити обробку тільки певних типів даних. Тому запропоновані підходи не доцільно застосовувати при розробці інформаційної технології для центрів обслуговування повітряного руху, оскільки вони не дозволяють забезпечити необхідних значень оперативності та обґрунтованості підготовки прийняття рішень ОПР.

Мета дослідження — розробка інформаційної технології для інтелектуальної підтримки прийняття рішення операторами центрів обслуговування повітряного руху з оцінки ситуацій повітряної обстановки, що з єдиних системних позицій дозволить врахувати особливості предметної області та сприяє досягненню потрібних значень показників обґрунтованості та оперативності оцінки повітряної обстановки при функціонуванні системи в реальному масштабі часу.

Постановка завдання. Згідно визначення нормативних документів під ІТ розуміється сукупність методів, виробничих процесів і програмно-технічних засобів, об'єднаних з метою збирання, опрацювання, зберігання і розповсюдження інформації в інтересах її користувачів [7].

Прикладна інформаційна технологія, з урахуванням особливостей розглядуваної предметної області, має на меті забезпечити підтримку функціонування інформаційно-керуючої системи, що є однією з головних складових АСУ ОПР. При цьому має бути враховано особливості побудови як

організаційної та функціональної структури системи УПР в цілому, так і особливості реалізації математичних, програмних, технічних та інформаційних засобів в АСУ.

В аспекті проведених досліджень [8-12] ІТ за своїм складом, змістом та побудовою має забезпечувати вирішення завдання інформаційного забезпечення підтримки прийняття рішень операторами АСУ ОПР в динаміці можливих змін ситуацій обстановки.

ІТ, що підлягає розробці, у підсумку має на меті реалізувати методи моделі та алгоритми, що забезпечують інтелектуальну підтримку прийняття рішень з оцінки СО операторами АСУ ОПР, що покращить якість функціонування центрів обслуговування повітряного руху.

Таким чином, необхідно розробити ІТ, що за змістом, складом та структурою побудови має являти собою взаємопов'язаний технологічний ланцюг з отримання, переробки, зберігання інформації, вироблення вирішальних правил та коригування вмісту бази даних та бази знань з метою підготовки рекомендацій для прийняття рішень з оцінювання ситуацій повітряної обстановки.

Метод побудови ІТ для інтелектуальної підтримки прийняття рішень

На першому етапі необхідно визначити зміст та склад ресурсів для реалізації процесів збору, обробки, зберігання та передачі (видачі) інформації в інтересах інтелектуальної підтримки прийняття рішень операторами АСУ ОПР.

З урахуванням отриманих наукових результатів до вказаного блока ресурсів слід віднести інтелектуальні моделі та методи ситуаційного аналізу обстановки в центрах обслуговування повітряного руху.

Першочергово слід врахувати метод синтезу та проєкційну багаторівневу модель діяльності операторів АСУ ОПР [13-16]. Вони дозволяють врахувати інтелектуальну діяльність ОПР і різні види та умови діяльності ОПР. При роботі із запропонованою моделлю можлива модифікація як моделі в цілому, так і її окремих площин. Проведено дослідження моделі при оперативній заміні складових площин, що дозволяє на етапі проєктування оцінити і обґрунтувати вимоги до складу засобів взаємодії, а також їх технічні характеристики. У практичному аспекті отриманий метод побудови моделі діяльності оператора доцільно використовувати при проєктуванні складних АСУ з використанням методу поетапного моделювання; оптимізації режимів роботи операторів і розробки інженерних рекомендацій щодо вдосконалення існуючих систем керування ергатичного типу; забезпечення тренувань операторів у період розробки комплексів і систем або при модернізації існуючих комплексів і систем; обґрунтуванні вимог до

комплексу засобів автоматизації, складу та структури підсистеми інформаційного забезпечення.

Отримана модель діяльності оператора дозволила розробити інтелектуальний метод обробки інформації про ситуації обстановки на основі когнітивного підходу [17]. При розробці методу формалізації знань про СО в повітряному просторі було враховано такі обмеження на процес вирішення даного завдання: різномірність, неточність і неповнота вихідної інформації про повітряну обстановку; задані часові рамки вирішення завдань; використання якісних оцінок особами, що приймають рішення; подання і інтерпретація модальних знань про оцінку СО. У методі передбачено використання ієрархічного алфавіту класів СО з можливістю коригування та доповнення; розроблено процедуру формалізації модальностей різного роду і наведено їх узагальнений опис з використанням апарату нечітких множин; побудовано процедуру багатоетапної формалізації знань, основу якої складають структура цільових установок і обчислення предикатів першого порядку; використано комбіновані моделі знань для формалізації процесу розпізнавання СО. Також отримано метод оцінювання ступеня небезпеки ситуації обстановки з використанням методу експертного опитування [11–13].

Розроблений метод формалізації знань при ситуаційному аналізі і процесі розпізнавання СО дозволяє вирішити задачу адаптивного керування відображенням інформаційними ознаками при синтезі ІМ.

В існуючих КТЗ АС УПР значною мірою не враховано інформаційні потреби ОПрР для вирішення завдань щодо оцінки СО, що складається в зоні відповідальності органу керування. При цьому відображається практично однаковий набір ІО, що не відповідає умовам діяльності ОПрР, та не враховує особливості вирішення конкретного завдання відповідно до умов обстановки, що склалася. Запропоновано метод проектування та синтезу інформаційних моделей для підтримки прийняття рішень в АС УПР, що дозволяє подолати виявлені протиріччя та усунути визначені недоліки [9]. Розроблено структуру засобів відображення, що відповідає інтелектуальній діяльності ОПрР за оцінкою СО, а також розроблено структуру подання інформаційних ознак, що є адекватною до етапів прийняття рішень ОПрР, та забезпечує високі адаптивні властивості синтезованих ІМ до динаміки змін СО.

На основі отриманих результатів розроблено підсистему інформаційного забезпечення оцінювання ситуацій обстановки в зоні відповідальності органу керування АС УПР та досліджено вплив ефекту накладення формулярів ПС на основні показники оцінки СО [14].

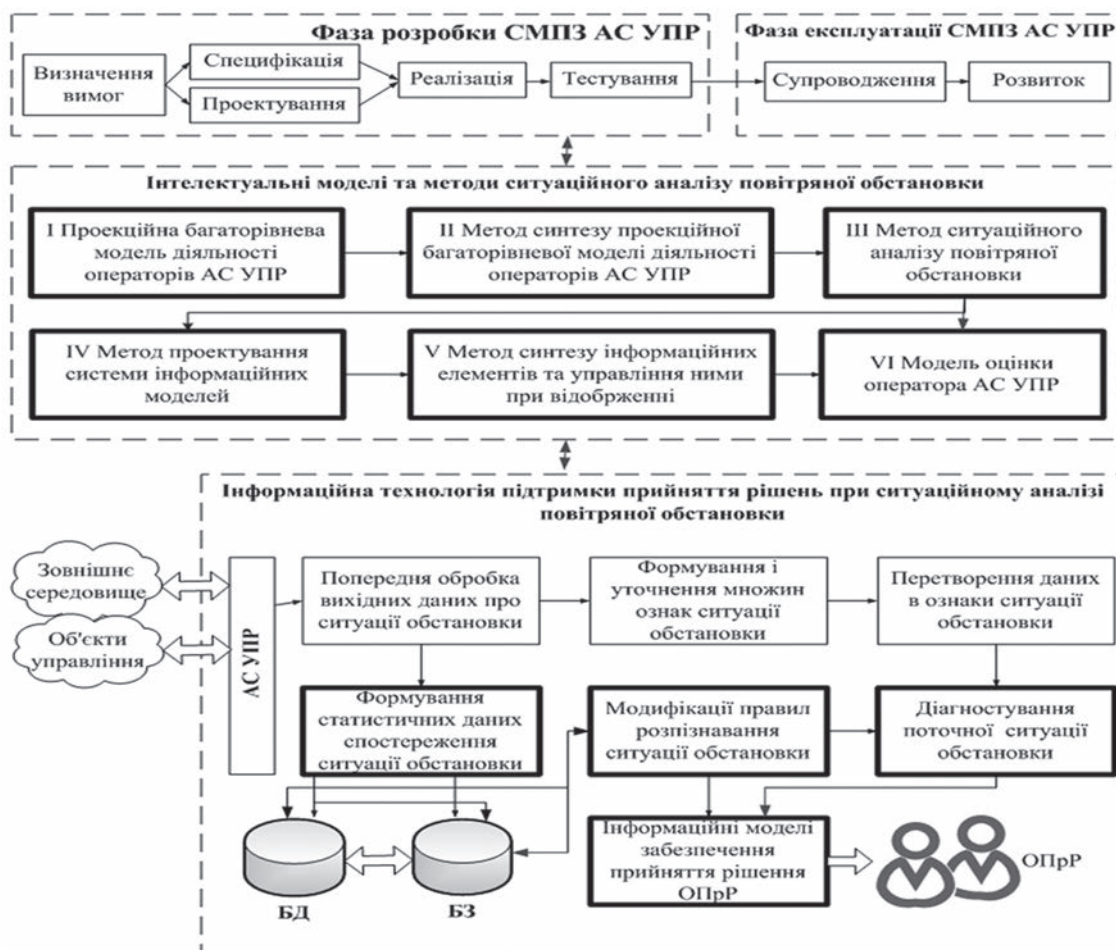
Заключним етапом передбачено розробку методів і процедур відбору операторів АСУ під час використання інтелектуальних СППР. Розроблено модель психологічного портрета фахівця, яка подана у вигляді ієрархічної структури, верхній рівень якої відображає бачення замовника і містить необхідні властивості та їх коефіцієнти значущості. Нижній рівень структури є сукупністю характеристик, що впливають на відповідні властивості і відповідні вагові значення [15]. Отримані моделі і алгоритми побудови еталону фахівця є основою для розробки моделей психодіагностичної методики і низки психодіагностичних методик, алгоритмів і процедур побудови низки психодіагностичних методик для діагностики претендентів.

Наступним етапом на основі розроблених інтелектуальних моделей та методів ситуаційного аналізу обстановки в центрах обслуговування повітряного руху передбачається розробка структури прикладної ІТ, що дозволить здійснити їх реалізацію в АС УПР. Пропонується наступна реалізація варіанту інформаційної технології підтримки прийняття рішень при ситуаційному аналізі повітряної обстановки (рис. 1). Блоками, що мають потовщене накреслення рамок, позначено вперше отримані та удосконалені методи та моделі інтелектуальної підтримки прийняття рішень та складові пропонованої ІТ.

Як джерело вихідних даних для ІТ може використовуватись планова та поточна інформація про польоти ПС, статичні дані про картографічний фон, рубежі передачі керування, коридори та ешелони ПС, дані радіолокаційного спостереження, метеодані, дані про завадову, орнітологічну обстановку тощо.

За змістом, складом та формою подання така інформація може суттєво відрізнятись, тому початковим етапом має виступати попередня обробка вихідних даних. Метою процедур попередньої обробки вихідних даних є приведення їх до необхідної форми, узгодження в просторово-часовій площині, вилучення дублюючих даних. Особливою технологічною ланкою передбачається формування статистичних даних спостережень ситуацій обстановки, вони сумісно з динамічною поточною інформацією виступають як основа для наповнення бази даних та бази знань, що використовується для побудови вирішальних правил розпізнавання та за необхідності їх модифікації.

Наступним технологічним етапом передбачається реалізація процедур формування і уточнення переліку ознак, що можуть мати різний ступінь значимості та змінювати цей ступінь залежно від ситуації обстановки та необхідного рішення, що має бути ухвалено відповідною посадовою особою. Далі технологічно передбачається перетворення даних у формалізовані ознаки, що виступають



Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при ситуаційному аналізі повітряної обстановки

інструментальними засобами діагностування поточної ситуації обстановки (можливість виникнення ПКС, її ступінь небезпеки та прогноз розвитку тощо). На основі сформованих переліків ознак здійснюється визначення поточної ситуації та за допомогою правил розпізнавання ситуація відноситься до одного з можливих класів. Наприкінці функціонування технологічного ланцюга здійснюється підготовка рішення щодо поточної ситуації в зоні відповідальності органу керування АС УПР. Після чого воно видається на затвердження особі, що приймає рішення. Оператор, за необхідності, може втручатися в технологічний процес в будь якій його ланці та на довільному етапі підготовки рішення. Таким чином, запропонована прикладна інформаційна технологія, на відміну від існуючих дозволяє підвищити рівень інтелектуалізації процесу підготовки прийняття рішень в АС УПР.

Висновки

У роботі запропоновано варіант реалізації інформаційної технології підтримки прийняття рішень при ситуаційному аналізі повітряної обстановки в центрах обслуговування повітряного руху. Наукова новизна пропонованої ІТ полягає

у використанні як методологічні ресурси вперше отримані та удосконалені методи та моделі інтелектуальної підтримки прийняття рішень при ситуаційному аналізі повітряної обстановки. Інструментальною основою запропонованої ІТ виступає удосконалене спеціальне математичне та програмне забезпечення АС УПР, реалізоване на відповідних технічних платформах із використанням обчислювальних засобів останнього технологічного покоління.

Таким чином, запропонованої ІТ сприяє досягненню необхідних значень оперативності та достовірності прийняття управлінських рішень при оцінюванні ситуацій обстановки в АС УПР, при припустимому збільшенні витрат на модернізацію СМПЗ у межах 17-29 % від базової вартості.

Список використаної літератури

1. Підсумки діяльності авіаційної галузі України за 1 півріччя 2019 року [Електронний ресурс]. URL:

<https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-v-galuzi-aviatransportu.html>.

2. Підсумки діяльності авіаційної галузі України за 2017 рік [Електронний ресурс]. URL:

<http://avia.gov.ua/pro-nas/statistika/periodychna-informatsiya/Pidsumky-roboty-2017rik.doc>.

3. Gillissen, Alexander and Michael Schultz. *Formal modeling of air traffic as system-of-systems: Proceedings of the 8th International Conference for Research in Air Transportation*. 2018.

4. Левыкин В. М., Шевченко И. В. *Метод построения информационной технологии диагностики состояния сложного технологического процесса // Управляющие системы и машины*. — 2014. № 3. С. 33–38.

5. G. M. P. Wanderley, M. H. Abel, J. P. Barthes and E. C. Paraiso. *A system of systems architecture for supporting decision-making: 2017 IEEE 21st International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*, 2017. P. 186–191.

6. Файнзильберг Л. С. *Интеллектуальные информационные технологии — главный инструмент построения средств цифровой медицины // Управляющие системы и машины*. 2018. № 3. С. 3–17.

7. *Математические основы эргономических исследований: монография / П. Г. Бердник, Г. А. Кучук, Н. Г. Кучук [и др.]*. Кропивницкий: КЛА НАУ, 2016. 248 с.

8. Блюмин С. Л., Боровкова Г. С. *Применение анализа конечных изменений и метода обратных вычислений в системах управления и поддержки принятия решений // Проблемы управления*, 2018. № 6. С. 29–34.

9. Павленко М. А., Шило С. Г., Дмитрієв О. М. *Модель функціональної діяльності оператора автоматизованої системи управління повітряним рухом // Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. Вип. 4(50). С. 17–21. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2018_4_6.

10. *Процедура оцінки ступеня небезпеки ситуації обстановки для системи підтримки прийняття рішень в АСУ повітряним рухом / М. А. Павленко, С. Г. Шило, І. О. Борозенець, О. М. Дмитрієв // Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. Вип. 6(52). С. 25–29. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2018_6_7.

11. *Imitation model of support for decision-making based on assessment of the situation by operators of the automated air traffic control system / O. Dmitriiev, I. Borozenec, S. Shilo, T. Kalimulin // Сучасні інформаційні системи*. 2018. Вип. 2(3). С. 30–35. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/adinsys_2018_2_3_7.

12. Шило С. Г., Дмитрієв О. М., Новікова І. В. *Метод формалізації знань про ситуаційний аналіз обстановки для системи підтримки прийняття рішень автоматизованої системи управління повітряним рухом // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2018. № 3(33). С. 93–98. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2018_3_17.

13. *Method development of the information models' design and synthesis for infocommunication systems of air traffic control / I. Borozenec, O. Dmitriiev, M. Melnichuk [et al.] // Сучасні інформаційні системи*. 2019. Вип. 3(3). С. 37–42. doi:

<https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.05>.

14. *Method of psychodiagnostic tools' determination for professional selection and training of specialists in complex ergatic systems / O. Dmitriiev, M. Melnichuk, S. Khmelevskiy [et al.]*: зб. наук. праць ХНУПС. Харків, 2019. Вип. 3(61). С. 53–62. doi:

<https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.08>

15. *Метод формалізації процесу формування інформаційних ознак ситуацій обстановки в автоматизованих системах управління повітряним рухом / М. А. Павленко, С. Г. Шило, І. О. Борозенець, О. М. Дмитрієв // Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Вип. 2(54). С. 22–27. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2019_2_7.

16. *Метод побудови моделі психологічного портрету оператора автоматизованої системи управління повітряним рухом / Г. В. Щербак, С. Г. Шило, О. М. Дмитрієв [и др.] // Системи озброєння і військова техніка*. 2019. Вип. 2(58). С. 143–151. doi:

<https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.17>.

17. *Алгоритм адаптивного масштабування інформаційної моделі відображення повітряної обстановки / Г. В. Щербак, І. О. Борозенець, С. Г. Шило [и др.] // Системи обробки інформації*. 2019. Вип. 3 (158). С. 27–35. doi:

<https://doi.org/10.30748/soi.2019.158.03>

18. *Метод проектування та синтезу інформаційних моделей для оцінки обстановки в автоматизованих системах управління повітряним рухом / М. Павленко, М. Petrushenko, S. Shylo [et al.] // Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Вип. 4(56), С. 3–7. doi:

<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.4.003>

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

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СИТУАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ В ЦЕНТРАХ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

Предлагается информационная технология для интеллектуальной поддержки принятия решения операторами центров обслуживания воздушного движения. По своему составу, содержанию и построению предложенная информационная технология обеспечивает информационную поддержку принятия решений в динамике возможных изменений ситуаций обстановки. В качестве

ресурсного забезпечення функціонування інформаційної технології пропонується інтелектуальні моделі та методи ситуаційного аналізу обстановки, отримані авторами в ході досліджень процесів інформаційного забезпечення діяльності осіб, приймаючих рішення в центрах обслуговування повітряного руху. В отличие від відомих запропонована інформаційна технологія дозволяє враховувати відмінності в складі інформації про ситуацію обстановки від різних типів джерел при попередній обробці вхідних даних. На наступному етапі передбачається формування та уточнення множин ознак, які мають різну ступінь значимості. На основі поточних ознак ситуації обстановки та даних історії спостережень здійснюється розпізнавання ситуації складаючої обстановки в зоні відповідальності органу управління. Інтелектуальні правила розпізнавання ситуацій можуть підлягати модифікації в залежності від ознак поточної ситуації та історії спостережень. Результатом функціонування запропонованої інформаційної технології є інформаційна модель, що забезпечує прийняття рішення оператором. При необхідності людина, приймаюча рішення, може втручатися в процеси обробки та перетворення інформації на будь-якому етапі функціонування. В результаті використання запропонованої інформаційної технології сприяє підвищенню оперативності та обґрунтованості прийняття рішень диспетчерами центрів обслуговування повітряного руху.

Ключові слова: інформаційна технологія; інтелектуальні методи та моделі; ситуаційний аналіз; повітряна обстановка; оператор.

M. Pavlenko, S. Shilo, O. Dmitriev

INFORMATION TECHNOLOGY FOR SUPPORTING DECISION MAKING AT AN ATTITUDE OF AIR CONDITIONING IN AIR SERVICE CENTERS

Information technology is offered for the intellectual support of decision making by operators of air traffic service centers. In its composition, content and construction, the proposed information technology provides information support for decision making in the dynamics of possible changes in situations. As a resource for the functioning of information technology, intellectual models and methods of situational analysis of the situation have been proposed, which were obtained by the authors in the course of studies of information support activities of decision-makers in air traffic service centers. In contrast to the known information technology, it is possible to take into account differences in the composition of the situation information from different sources when pre-processing the input data. In the next stage, it is envisaged to form and refine sets of features that have different degrees of significance. On the basis of the current signs of the situation situation and the data of the prehistory of observations, the situation situation is identified, which is in the area of responsibility of the management body. Intelligent situation recognition rules may be subject to modification depending on the characteristics of the current situation and the background of the observations. The result of the operation of the proposed information technology is an information model that provides decision making by the operator. If necessary, the decision maker can interfere with the processing and transformation of information at any stage of operation. As a result, the use of the proposed information technology helps to increase the efficiency and validity of decision-making by air traffic service center dispatchers.

Keywords: information technology; intellectual methods and models; situational analysis; air situation; operator.

