

4. Чуи Ч. Введение в вейвлеты. М.: Мир, 2001.
5. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. ВУС, 1999.
6. Лагун А. Використання вейвлет-перетворення для приховування інформації в нерухомих зображеннях / А. Лагун, І. Лагун // Захист інформації і безпека інформаційних систем. — Л. — 2013. — С. 98–99.
7. Астраханцев А.А., Вовк О.О. Аналіз ефективності застосування вейвлет-перетворення в стенографічних системах передавання даних // Вісник Національного університету Львівська політехніка. Інформаційні системи та мережі. — 2015. — Т.832. — С.9–17.
8. Новоселов С.А., Савватин А.И. Использование согласованных вейвлет-фильтров в задаче защиты речевой информации // Докл. 12-й междунар. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение». М., 2010. Т.2. С.209–211.

Статтю подано до редакції 03.11.2020

УДК 629.7.01:629.7.083(045)

DOI 10.33111/mise.100.13

Шевчук Д. О., д.т.н., с.н.с.,
завідувач кафедри організації авіаційних перевезень,
Мединський Д. В.,
аспірант кафедри організації авіаційних перевезень,
Маляренко Д. Л.,
аспірантка кафедри організації авіаційних перевезень,
Національний авіаційний університет

Shevchuk D. O., Dr. of Engineering Sciences, Senior Research Officer,
Head of the Air Transportation Management Department
Medynskyi D. V.,
Postgraduate at the Department of Air Transportation
Management Department,
Maliarenko D. L.,
Postgraduate at the Department of Air Transportation
Management Department
National aviation university

АРХІТЕКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ АВІАЦІЙНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ, ЩО ФУНКЦІОНУЄ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

ARCHITECTURE OF AN INTELLIGENT AVIATION TRANSPORT SYSTEM THAT OPERATES UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Анотація. Існуюча локальна система інформаційного супроводу та контролю діяльності сегментів авіаційного транспортного комплексу забезпечують ефективне вирішення певного ряду завдань. Але відсутність

єдиних державних стандартів розвитку аналогічних систем обмежує можливість їх інтеграції з метою створення єдиної платформи управління, в якій принципи управління виходять на новий якісний рівень - прогностичного управління, тобто управління передбачення ситуації за всіма показниками діяльності наземного обслуговування повітряних кораблів (НОПК) в аеропорту. Така сукупність системи, яка об'єднує в єдиний технічний і технологічний комплекс підсистеми організації технологічного обслуговування повітряних кораблів у місцях їх стоянки в аеропорту, інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень (ІАСППР) диспетчером у збійних ситуаціях, забезпечення регулярності виконання польотів, а також надання інформаційного сервісу для всіх учасників технологічного процесу в аеропорту та потенційних суб'єктів транспортного процесу будемо називати -інтелектуальна авіаційна транспортна система (ІАТС) [12].

Оперативним завданням ІАТС є комплекс технологічної, транспортно-технологічної, технологічно-сервісної та інформаційної інфраструктури на основі інтелектуальних технологій. Фактично цей комплекс являє собою сукупність підсистем, в яких передбачена функція диспетчерського, оперативного та ситуаційного координування взаємодії служб спецтранспорту аеропорту, інших відомств і структур. Для організації такої злагодженої взаємодії необхідно створювати диспетчерські центри, які включають до свого складу ІАСППР у збійних ситуаціях в аеропорту [11]. Прийняття рішень з проектування, розширення ІАТС повинно спиратися на наукові принципи визначення моніторингу індикаторів ефективності підсистем ІАТС у системі аеропорту (за параметрами функціонування транспортної системи), а також споживачів інформаційних послуг, які безпосередньо надаються через ІАТС [12].

Ключові слова: аеропорт; прийняття рішень; наземне обслуговування; інформаційна транспортна система; підсистема; ієрархічна структура; інтелектуальна система.

Annotation. The existing local system of information support and control over the activities of the segments of the aviation transport complex provides an effective solution to a certain number of tasks. One of the main problems of air transport is the safety and regularity of flights. However the absence of unified state standards for the development of similar systems limits the possibility of their integration in order to create a unified management platform, in which the management principles reach a new qualitative level of predictable management, that is management of forecasting the situation for all indicators the situation for all indicators of aircraft ground handling at the airport. Such a complex of systems that integrates into a single technical and technological complex a subsystem for organizing the technological maintenance of aircraft at their parking at the airport, ensuring the regularity of flights and providing information services for all participants in the technological process at the airport for potential subjects of the transport process is called an - Intelligent Transport System. The operational task of the intelligent transport system is a complex of technological, transport-technological, technological-service and information infrastructure. In fact, this complex is a set of subsystems in which the function of dispatching, operational and situational coordination of the interaction of the airport special transport services, other departments and structures is provided. To organize such a coordinated interaction it is necessary to create dispatch centers.

Decision-making on the design, expansion of the intelligent transport system should be based on the scientific principles of determining the monitoring of indicators of the efficiency of the subsystems of the intelligent transport system for the parameters of the functioning of the transport system, as well as consumers of information services that are directly offered by these same intelligent transport system.

Keywords: airport; decision making; ground handling; information transport system; subsystem; hierarchical structure; intelligent system.

Постановка проблеми. Формування прикладної архітектури інтелектуальної авіаційної транспортної системи - це процес отримання в режимі проектування системи на підставі вимог замовника з урахуванням думок споживачів, транспортної політики, рівня взаємодії оперативних служб, формалізованого комплексного представлення про функціональну, технічну структуру, рівня сумісності транспортно-технічних систем(підсистем ІАТС), взаємодія яких з максимальною ефективністю забезпечує необхідну мобільність виконання рейсів і використання технологічного обладнання під час наземного обслуговування повітряних кораблів умовах виникнення збійної ситуації в аеропорту [5].

Так у роботі пропонується розглянути синтез архітектури ІАТС, а саме функціональну та фізичну архітектуру.

Інтелектуальна транспортна система-це інтелектуальна система, яка використовує інноваційні розробки в моделюванні транспортних систем та регулюванні транспортних потоків, яка надає кінцевим споживачам величезну інформативність та безпеку і в той же час якісно підвищує рівень взаємодії учасників авіатransпортної системи у порівнянні зі звичайними транспортними системами [1].

На жаль, у даний час не розроблено структурні та функціональні схеми комплексної інтелектуальної транспортної системи, а виконуються на практиці лише самостійні, розрізнені технічні розв'язки у сфері інтелектуальних авіаційних транспортних систем, такі як автоматизовані системи управління рухом і системи диспетчеризації. Окремі підсистеми інтелектуальних авіаційних транспортних систем не інтегровано в єдиний інформаційний простір і як правило не взаємодіють одна з одною. Тому нагальною задачею є розробка інформаційної та фізичної структури ІАТС [5].

Розробки ІАТС — це потенційно ефективний конкурентно-спроможний інноваційний бізнес і стимул розвитку нового високотехнологічного сектору авіапромисловості. Відмінною рисою сучасних ІАТС є зміна статусу транспортної одиниці від незалежного, самостійного і в значній мірі непередбачуваного суб'єкта транспортного руху в бік активного непередбачуваного суб'єкта транспортно-інформаційного простору [3].

Розвиток ІАТС методологічно базується на системному підході, формуючи ІАТС, як системи, а не як окремі модулі(сервіси). Підходи до створення ІАТС ґрунтуються на принципах модернізації, реінжинірингу діючих транспортних систем.

Мета статті — синтез архітектури ІАТС, з урахуванням вхідних і вихідних потоків, а також функцій і цілей управління аеропорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання аналізу причин порівняння функціональної архітектури ІАТС [12] приділяли багато уваги як вітчизняних, так і закордонних науковців, а саме : П. Пржибил, Е. Б. Хілажев, В. С. Медведєв, В. І. Комашинський, Філ Саєт, Філ Чарльз, І. В. Кабашкін, О. М. Пономарьова, Т. І. Міхєєва, С. В. Жанказієв, В. Г. Кочерга, В. В. Комаров, С. А. Гараган, Ф. Ф. Іванов, А. М. Кірілов, І. І. Дмитрієв, В. Я. Цветков, І. В. Соловійов, С. В. Мельничук, О. К. Катерна, В. В. Скалозуб.

Так, наприклад у роботі [7] авторка пропонує встановити групи користувачів інтелектуальної транспортної системи та виокремити послуги, якими вони користуються.

У роботі [12] авторка розглядає базові технології для транспортної інфраструктури і транспортних засобів, класифікує сервіси користувачів ІАТС, а автор роботи [1] досліджував омологію послуг в ІАТС з урахуванням забезпечення сумісності окремих складових елементів ІАТС.

Основні результати дослідження. Використання сучасних досягнень інформаційних, комп'ютерних, інтелектуальних технологій і засобів зв'язку — телематики в управлінні транспортними системами дозволяє кардинально підвищити ефективність і якість їх роботи. Тому, у збійних ситуаціях транспортні системи з використанням автоматизованих систем управління (АСУ), побудованих на основі перерахованих технологій отримали у всьому світі спеціальне найменування — ІАТС [13].

У світовій практиці ІАТС визнані, як загальнотранспортна ідеологія інтеграції досягнень сучасних методів управління і інтелектуальних технологій у всі види транспортної діяльності аеропорту для вирішення проблем економічного і соціального характеру, підвищення ефективності функціонування пасажирського та вантажного транспорту, зниження транспортних витрат, забезпечення транспортної безпеки, поліпшення регулярності польотів відповідно до добового плану аеропорту.

Тому, розвиток ІАТС методологічно базується на системному підході, формуючи ІАТС не як окремі функціональні блоки, а як систему. У цілому підходи до створення ІАТС ґрунтуються на принципі модернізації діючих транспортних систем шляхом поетапного розвитку і модульності створення ІАТС. Принцип модульності вимагає чіткого розуміння плану побудови ІАТС, в рамках якого будуть реалізовуватися окремі модулі, які в свою чергу будуть надалі гарантовано сумісні з модулями, синтезованими на наступних стадіях проекту [11]. Такий шлях побудови системи в

технічній літературі називається архітектурою. Архітектура ІАТС складає рамкову структуру, в межах якої можуть бути використані різні підходи до проектування з урахуванням конкретного функціоналу системи і необхідних користувачам сервісів. У нашій країні основним документом з побудови архітектури ІАТС є ГОСТ Р ІСО 14813-1020117 Інтелектуальні транспортні системи. Схема побудови архітектури інтелектуальних транспортних систем [13].

Так, функціональна архітектура визначає функції окремих елементів, модулів і підсистем і зв'язки між ними. Вона виокремлена з урахуванням специфіки функціонування ІАТС, в умовах виникнення збійної ситуації. Окремі ж підсистеми функціональної архітектури містять ряд процесів, з яких складається ІАСПР, а саме обробка поточної інформації, формування альтернатив управління та вибір оптимальної стратегії управління [5].

Складовою частиною задач функціональної архітектури ІАТС є інтелектуальна, інформаційна архітектура системи, яка надає точного опису інформаційних процесів у всіх підсистемах системи НОПК включаючи вимоги до вхідних і вихідних потоків інформації (Рис. 1), а також функцій і цілей управління [1].

Кожен з процесів (рис. 1) характеризується як конкретними функціями, так і параметрами, які висувають вимоги до вхідної та вихідної інформації, а також до способу обробки інформації. До вимог вхідної інформації окремих процесів (рис. 1) відносять, зокрема, частоту вхідної інформації, вимоги до передачі вхідної інформації від операторів наземного обслуговування повітряних кораблів (НОПК) до начальника комплексної зміни (НКЗ). До вимог обробки інформації у межах кожного процесу відносять: захищеність і надійність даних у процесі обробки, швидкість передачі даних, властивості використовуваних алгоритмів, інтелектуальність етапів підтримки прийняття рішень [11].

Опорні технології (рис. 1) ІАТС використовують виходи окремих процесів, які синхронізовані за часом, за кодом і в просторі. До опорних технологій відносять підтримку транспортного планування (добовий план польотів), інформацію від операторів, управління технологічними процесами в місцях обслуговування повітряних кораблів. Зазвичай окремі опорні технології ІАТС знаходяться у кількох прошарках ІАТС. Тому слід віднайти єдину модель ієрархічної структури, яка б враховувала різні вимоги до захищеності, надійності, збору, передачі та обробки інформації між підсистемами аеропорту [13].

Перший рівень основної схеми ієрархічної структури ІАТС представлено виконавчими елементами, де проводиться збір даних та дії з управління процесом наземного обслуговування повітряних кораблів. Другий рівень ІАТС характеризує усе оперативне управління невеликими ділянками транспортних мереж, окремих терміналів і транспортних засобів аеропорту [1].

Третій рівень ІАТС характеризує усю транспортну мережу великих ділянок і в більшості випадків, мова йдеться про обробку, уніфікацію та вилучення інформації з підсистем другого прошарку. Четвертий рівень ІАТС відображає державну транспортну політику, створення фонду розвитку транспорту, навантаження транспортної інфраструктури, оцінку втрат від збійних, позаштатних ситуацій, статистичну обробку даних. П'ятий рівень ІАТС являє собою європейський рівень і транспортну політику країн – членів Європейського Союзу [4].

Комунікаційне середовище між першим і другим рівнем ІАТС висуває найжорсткіші вимоги до захисту, надійності та доступу до передачі даних. Так, одночасно це середовище повинно відповідати й іншим вимогам, які здебільшого призводять до створення комунікаційного середовища. У першому комунікаційному рівні передається найбільша кількість даних [12].

Розглянемо детальніше характеристики кожного рівня ІАТС. Перший рівень ІАТС характеризується збором статичних і динамічних даних про транспортно-експлуатаційні показники повітряних кораблів, транспортні засоби, які обслуговують літаки в місцях стоянки. Характерним для цього рівня, окрім збору даних є здійснення інтелектуального управління за допомогою виконуючих елементів [1]. Так на першому рівні засоби та системи автоматизації реалізують такі процеси:

- збір даних про транспортно-експлуатаційний стан повітряних кораблів(інтенсивність використання, метеорологічні данні);

- збір даних про транспортні засоби, які використовують при обслуговуванні повітряних кораблів у місцях стоянки(моніторинг стану спецтехніки, автоматичне оповіщення про збійні, позаштатні ситуації);

- збір даних про транспортні термінали(зайнятість телескопічних трапів, стан спецтехніки);

- стан і зміну виконавчих елементів (зміна стану управління процесами технологічного обслуговування в роботі оператора).

Другий рівень ІАТС, вміщує в себе комп'ютерно-інтегровані комплекси, які здійснюють оптимальне управління на транспортних дільницях у межах аеропорту.

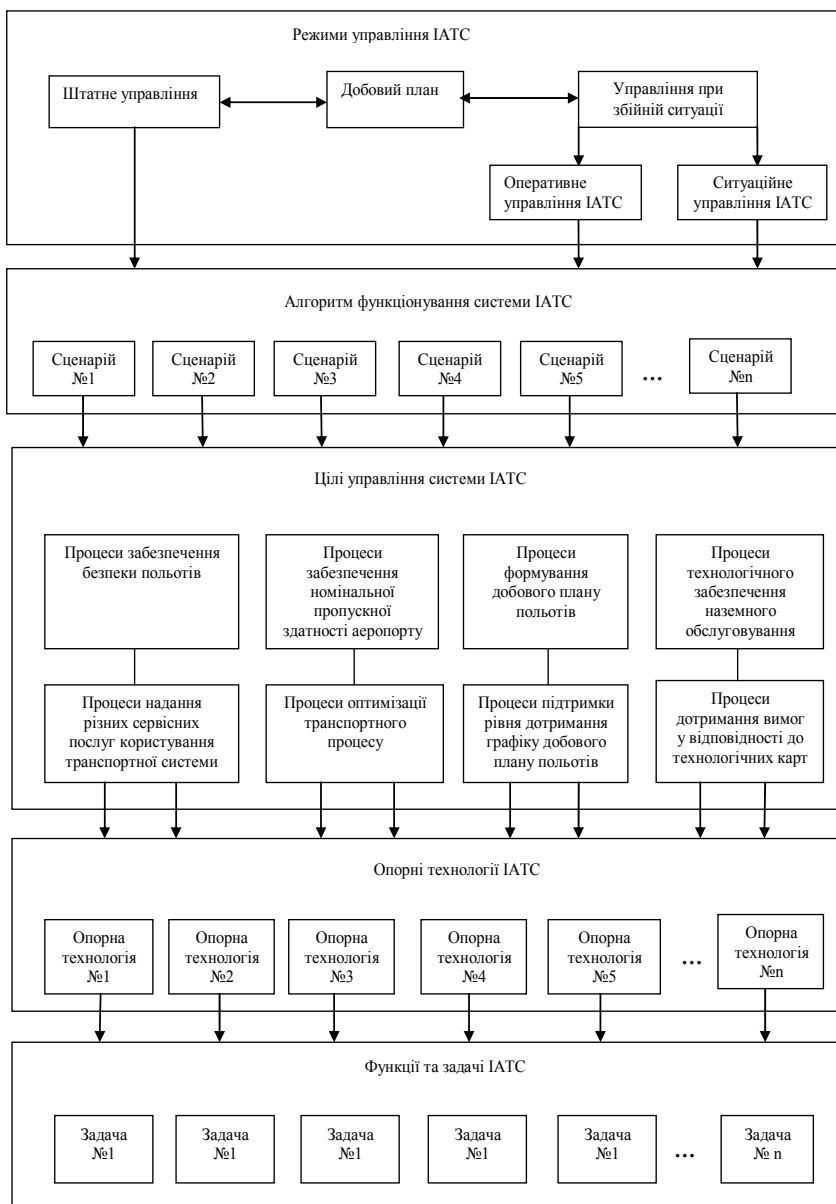


Рис. 1. Функціональна архітектура
Інтелектуальної авіаційної транспортної системи

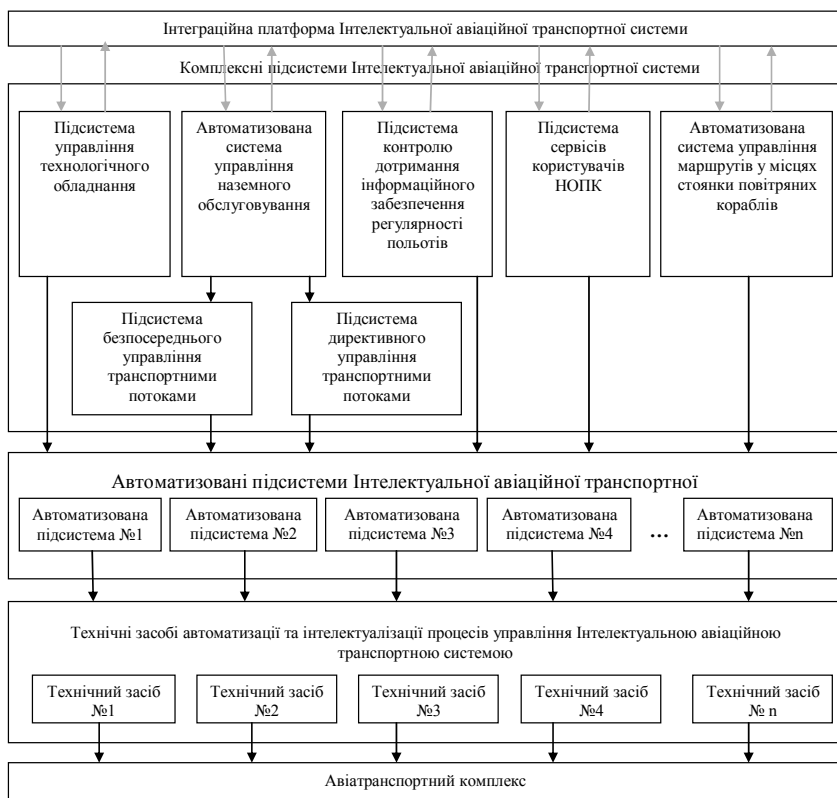


Рис. 2. Структурна схема фізичної архітектури ІАТС

Третій рівень ІАТС об'єднує засоби та системи управління другого рівня, що призначені для диспетчерського управління транспортними системами.

Четвертий рівень ІАТС є найвищою ланкою окремого виду транспорту та використовується для запровадження транспортної політики, наприклад, електронні цифрові карти розмітки на злітно-посадковій смузі аеропорту. Цей рівень інтегрує економічне планування транспорту до всіх суб'єктів авіатранспортного комплексу. Він відрізняється у першу чергу збором статистичних даних про транспортну систему та слугує для оцінки основних параметрів функціонування авіаційного транспорту на відповідному рівні.

П'ятий рівень ІАТС повинен бути ланцюгом регіональної (європейської, глобальної) транспортної політики та слугувати для її активної підтримки.

Фізична та комунікаційна архітектура визначає вимоги, які висувуються до програмного забезпечення та апаратним засобам інформаційних, комп'ютерних та інтелектуальних технологій, враховуючи їх просторову локалізацію на ієрархічних рівнях ІАТС [13].

Відповідно до запланованої функціональної та інформаційної архітектури варто зазначити та виокремити конкретні технічні рішення засобів автоматизації та програмного забезпечення ІАТС. Критерієм для прийняття рішень по впровадженню їх в ІАТС є функціональність, безпека, надійність і, не в останню чергу – витрати, пов'язані із придбанням системи. Фізичну архітектуру ІАТС (рис. 2) пропонується розбити на три ієрархічні рівні.

Фізична архітектура першого рівня зумовлена вибором засобів автоматизації та виконуючих елементів. Між першим і другим рівнем здійснюється передача найважливіших даних, яка пов'язана з управлінням транспортними потоками в аеропорту. Передача між першим і другим рівнем здійснюється за допомогою власної спеціальної автоматизованої системи, яка повинна гарантувати та задовольняти усім вимогам до захищеності та доступності передачі інформації [11].

Другий рівень здійснює обробку даних і контролює зональне управління. Він створюється у відповідності до обчислювальної техніки відповідно до умов оброблюючої інформації. Телекомунікація між другим і третім рівнями реалізується відповідно до умов конкретних процесів.

Третій рівень визначено інформаційними технологіями управління, логістики. Вибір програмного забезпечення та апаратних засобів здійснюється виходячи з умов окремих процесів.

Одним із основних елементів ІАСПРР є база знань, яка реалізує в собі позитивний попередній досвід дій операторів НОПК функціонуючого в умовах збійних ситуацій. Розглянемо детальніше метод побудови «бази даних» ІАТС.

У роботі пропонується використовувати методику побудови бази правил ІАТС, що функціонує в умовах невизначеності, заснована на методі лінгвістичної апроксимації, запропонованому професором А.П. Ротштейном [6, 8—10]. Ідея, покладена в основу зв'язків між змінними авіатранспортної системи «вхід-вихід» і в описі цих зв'язків на природній мові із застосуванням теорії нечітких множин і лінгвістичних змінних

Розглянемо ІАТС з m_n входами і одним виходом:

$$p = f(m_1, m_2, \dots, m_n), \quad (1)$$

де f — вихідна змінна (добовий план польоту); $m_1, m_2, \dots, m_n$ — вхідні змінні (кількість рейсів, типи повітряних кораблів (ПК), «комплекс несучів» наявні технічні засоби і так далі)

Змінні $m_1, m_2, \dots, m_n$ і p є кількісними, тому передбачаються відомими межі їх зміни:

$$M_i = [m_{i\min}, m_{i\max}], i = \overline{1, n}; \quad (2)$$

$$P = [p_{\min}, p_{\max}], \quad (3)$$

де $m_{i\min}(m_{i\max})$ — мінімальне (максимальне) значення вхідної змінної m_i , $i = \overline{1, n}$; $p_{\min}(p_{\max})$ — мінімальне (максимальне) значення вихідної змінної p .

Завдання полягає в тому, щоб для вектору стану ІТС $M^* = [m_1^*, m_2^*, \dots, m_n^*]$ фіксованих значень вхідних змінних $m_i^* \in M_i, i = \overline{1, n}$ заданої авіатранспортної системи визначити необхідну корекцію добового плану польотів $p^* \in P$.

Необхідною умовою формального рішення такої задачі є наявність залежності (1). Для оцінки лінгвістичних змінних $m_i, i = \overline{1, n}$ і p використовуватимемо нечіткі множини: $S_i = [s_i^1, s_i^2, \dots, s_i^{l_i}]$ — нечітка множина змінної $m_i, i = \overline{1, n}$; $V = [v_1, v_2, \dots, v_r]$ — нечітка множина змінної p , де s_i^q — q -е нечітка множина лінгвістичної змінної $m_i, q = \overline{1, l_i}, i = \overline{1, n}$; v_j — j -е нечітка множина лінгвістичної змінної p ; r — число різних рішень у даній області. У загальному випадку $l_1 \neq l_2 \neq \dots \neq l_n$.

Назви окремих термів $s_i^1, s_i^2, \dots, s_i^{l_i}$ можуть також відрізнятися один від одного для різних лінгвістичних змінних $m_i, i = \overline{1, n}$. Лінгвістичні множини $s_i^q \in S_i$ і $v_j \in V, q = \overline{1, l_i}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, r}$ розглядатимемо як нечіткі множини, задані на універсальних множинах M_i і P , визначені співвідношеннями (2) (3).

Нечіткі множини s_i^q і v_j визначимо співвідношеннями [6]:

$$s_i^q = \int_{m_{i\min}}^{m_{i\max}} \mu^{s_i^q}(m_i) / m_i, \quad (4)$$

$$v_j = \int_{p_{\min}}^{p_{\max}} \mu^{v_j}(p) / p, \quad (5)$$

де $s_i^q(m_i)$ — функція належності вхідної змінної $m_i \in [m_{i\min}, m_{i\max}]$ множині $s_i^q \in S_i, q = \overline{1, l_i}, i = \overline{1, n}$;

$\mu^{v_j}(y)$ — функція належності вихідний змінної $p \in [p_{\min}, p_{\max}]$ — рішенню $v_j \in V, j = \overline{1, r}$.

Припустимо, що є N дані, що встановлюють зв'язок між поточною ситуацією в аеропорту і необхідною корекцією добового плану польотів (ДПП). Розподілимо їх таким чином: $N = k_1 + k_2 + \dots + k_r$, де k_j — число даних, що відповідає вихідному рішенню $v_j, j = \overline{1, r}, r$ — число вихідних рішень, у загальному випадку $k_1 \neq k_2 \neq \dots \neq k_r$. Передбачається, що $N < l_1 \cdot l_2 \cdot \dots \cdot l_n$, тобто число даних менше повного перебору різних поєднань рівнів $(l_i, i = \overline{1, n})$ зміни вхідних змінних ІАТС.

Пронумеруємо N даних таким чином:

11, 12, ..., 1 k_1 — номери комбінацій вхідних змінних для оптимальної корекції ДПП v_1 ;

21, 22, ..., 2 k_2 — номери комбінацій вхідних змінних для оптимальної корекції ДПП v_2 ;

j 1, j 2, ..., $j k_j$ — номери комбінацій вхідних змінних для оптимальної корекції ДПП v_j ;

r 1, r 2, ..., $r k_r$ — номери комбінацій вхідних змінних для оптимальної корекції ДПП v_r .

За результатами експертних оцінок про зв'язок між входами і виходом ІАТС побудуємо таблицю у відповідність наступним правилами (табл. 1).

1. Розмірність матриці: $(n+1) \times N$, де $(n+1)$ — число стовпців, а $N = k_1 + k_2 + \dots + k_r$ — число рядків;

2. Перші стовпців матриці відповідають вхідним змінним, $m_i, i = \overline{1, n}$, а $(n+1)$ -й стовпець відповідає значенням $v_j, j = \overline{1, r}$ вихідний змінної p .

3. Кожен рядок матриці є деякою комбінацією значень вхідних змінних, віднесеною експертом (оператором) до одного з можливих значень вихідний змінної p . При цьому: перші k_1 рядків відповідають значенню вихідний змінної $p = v_1$, другі k_2 рядків — значенню $p = v_2$ і так далі, останні k_r рядків - значенню $p = v_r$.

4. Елемент s_i^{jq} стоїть на перетині i -го стовпця і jq -го рядка відповідає лінгвістичній оцінці параметра m_i в рядку нечіткої бази знань з номером jq .

При цьому лінгвістична оцінка s_i^{jq} вибирається з нечіткої множини яка відповідає змінній m_i , тобто $s_i^{jq} \in S_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, r}, q = \overline{1, k_j}$. Сформовану таблицю назовемо матрицею знань, яка представлена в табл. 1.

Таблиця 1
МАТРИЦЯ УПРАВЛІННЯ ІАТС

Номер вхідної комбінації значень	Вхідні змінні				Вихідна змінна
	m_1	m_2	...	m_n	p
11	s_1^{11}	s_2^{11}	s_i^{11}	s_n^{11}	v_1
12	s_1^{12}	s_2^{12}	s_i^{12}	s_n^{12}	
...	...	...	...	...	
$1\ k_1$	$s_1^{1k_1}$	$s_2^{1k_1}$	$s_i^{1k_1}$	$s_n^{1k_1}$	
...					
$j\ 1$	s_1^{j1}	s_2^{j1}	s_i^{j1}	s_n^{j1}	v_2
$j\ 2$	s_1^{j2}	s_2^{j2}	s_i^{j2}	s_n^{j2}	
...	...	...	...	...	
jk_j	$s_1^{jk_j}$	$s_2^{jk_j}$	...	$s_n^{jk_j}$	
...					
$r\ 1$	s_1^{r1}	s_2^{r1}	s_i^{r1}	s_n^{r1}	v_r
$r\ 2$	s_1^{r2}	s_2^{r2}	s_i^{r2}	s_n^{r2}	
...	...	...	...	...	
$r\ k_r$	$s_1^{rk_r}$	$s_2^{rk_r}$	$s_i^{rk_r}$	$s_n^{rk_r}$	

Наявні експертні дані, представлені в вигляді матриці знань, встановлюють зв'язок між набором вхідних параметрів, що характеризують поточні стан ІТС $m_1 - m_n$ і що відповідає цьому набору станів системи необхідна корекція ДПП $v_j, j = \overline{1, r}$, у вигляді логічних висловлювань типу «Якщо (поточна ситуація в аеропорту), то (необхідний управляючий вплив (корекція ДПП))»:

якщо $(m_1 = s_1^{11})$ і $(m_2 = s_2^{11})$ і...і $(m_n = s_n^{11})$ або $(m_1 = s_1^{12})$ і $(m_2 = s_2^{12})$ і...і $(m_n = s_n^{12})$ або $(m_1 = s_1^{1k_1})$ і $(m_2 = s_2^{1k_1})$ і...і $(m_n = s_n^{1k_1})$, то $p = v_1$;

якщо $(m_1 = s_1^{21})$ і $(m_2 = s_2^{21})$ і...і $(m_n = s_n^{21})$ або $(m_1 = s_1^{22})$ і $(m_2 = s_2^{22})$ і...і $(m_n = s_n^{22})$ або $(m_1 = s_1^{2k_2})$ і $(m_2 = s_2^{2k_2})$ і...і $(m_n = s_n^{2k_2})$, то $p = v_2$;

якщо $(m_1 = s_1^{r1})$ і $(m_2 = s_2^{r1})$ і...і $(m_n = s_n^{r1})$ або $(m_1 = s_1^{r2})$ і $(m_2 = s_2^{r2})$ і...і $(m_n = s_n^{r2})$ або $(m_1 = s_1^{rk_r})$ і $(m_2 = s_2^{rk_r})$ і...і $(m_n = s_n^{rk_r})$, то $p = v_r$;

де $v_j (j = \overline{1, r})$ – лінгвістична оцінка вихідний змінної p , визначувана з нечіткої множини P ; s_i^{jq} – лінгвістична оцінка вхідної змінної m_i в q -му рядку j -ої диз'юнкції, що обирається з відповідної нечіткої множини $S_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, r}, q = \overline{1, k_j}$; k_j – кількість правил, що визначають значення вихідний змінної.

З використанням операцій $\cup$ (або), $\cap$ (і) система логічних висловлювань може бути представлена в компактнішому виді [6, 9]:

$$\bigcup_{q=1}^{k_j} \left[\bigcap_{i=1}^n (m_i = s_i^{jq}) \right] \rightarrow p = v_j, j = \overline{1, r} \quad (6)$$

Таким чином, співвідношення (1), що встановлює зв'язок між вхідними параметрами ІАТС m_i і необхідним керуючим впливом p для зменшення часу простою формалізоване у вигляді системи нечітких логічних висловлювань, які базуються на введеній матриці знань.

Лінгвістичні оцінки s_i^{jq} змінних $m_1 - m_n$, що входять у логічні висловлювання про рішення v_j розглядатимемо як нечіткі множини, визначені на універсальних множинах $S_i = [m_{i\min}, m_{i\max}]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, r}$.

Нехай $\mu^{s_i^{jq}}(m_i)$ — функція належності параметра $m_i \in [m_{i\min}, m_{i\max}]$, $i = \overline{1, n}$ нечіткій множині s_i^{jq} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, r}$, $q = \overline{1, k_j}$, а $\mu^{v_j}(m_1, m_2, \dots, m_n)$ — функція належності вектору вхідних змінних значенню вихідний змінної.

Зв'язок між цими функціями належності визначається нечіткою базою знань (6), яку перетворимо до такого виду:

$$\begin{aligned} \mu^{v_1}(m_1, m_2, \dots, m_n) = & \mu^{s_1^{11}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{11}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{11}}(m_n) \vee \\ & \vee \mu^{s_1^{12}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{12}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{12}}(m_n) \vee \dots \\ & \dots \vee \mu^{s_1^{1k_1}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{1k_1}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{1k_1}}(m_n), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^{v_2}(m_1, m_2, \dots, m_n) = & \mu^{s_1^{21}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{21}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{21}}(m_n) \vee \\ & \vee \mu^{s_1^{22}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{22}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{22}}(m_n) \vee \dots \\ & \dots \vee \mu^{s_1^{2k_2}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{2k_2}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{2k_2}}(m_n), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mu^{v_r}(m_1, m_2, \dots, m_n) = & \mu^{s_1^{r1}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{r1}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{r1}}(m_n) \vee \\ & \vee \mu^{s_1^{r2}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{r2}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{r2}}(m_n) \vee \dots \\ & \dots \vee \mu^{s_1^{rk_r}}(m_1) \wedge \mu^{s_2^{rk_r}}(m_2) \wedge \dots \wedge \mu^{s_n^{rk_r}}(m_n), \end{aligned}$$

де $\vee$ — логічне АБО, $\wedge$ — логічне І.

Нечіткі логічні рівняння (7) отримані з нечіткої бази знань шляхом заміни лінгвістичних термів s_i^{jq} і v_j на відповідні функції належності, а операції $\cup$ і $\cap$ на операції $\vee$ і $\wedge$. Систему логічних рівнянь (7) можна записати в компактному виді:

$$\mu^{v_j}(m_1, m_2, \dots, m_n) = \bigvee_{q=1}^{k_j} [\bigwedge_{i=1}^n \mu^{s_i^{jq}}(m_i)], j = \overline{1, r}. \quad (8)$$

Після того, як була формалізована початкова експертна інформація про залежність «входи – вихід» у вигляді системи нечітких логічних висловлювань, необхідно розробити алгоритм, який дозволяє по фіксованому вектору вхідних змінних $M^* = [m_1^*, m_2^*, \dots, m_n^*]$, $m_i^* \in [m_{i\min}, m_{i\max}]$ визначити відповідне значення керуючої дії $p^* \in [p_{\min}, p_{\max}]$.

Вважатимемо, що нам відомі [10]:

— нечітка множина рішень $V = [v_1, v_2, \dots, v_r]$, що відповідають вихідний змінній p ;

— множина вхідних змінних $M = [m_1, m_2, \dots, m_n]$;

— діапазони кількісної зміни кожної вхідної змінної $m_i \in [m_{i\min}, m_{i\max}]$, $i = \overline{1, n}$;

— діапазон кількісної зміни вихідної змінної $p \in [p_{\min}, p_{\max}]$;

— функції належності $\mu^{s^{jq}}(m_i)$ параметра $m_i \in [m_{i\min}, m_{i\max}]$, $i = \overline{1, n}$ нечіткій множині s_i^{jq} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, r}$, $q = \overline{1, k_j}$.

Використовуючи нечіткі логічні залежності (8) визначимо функції належності $\mu^{v_j}(m_1, m_2, \dots, m_n)$.

Таким чином, алгоритм визначення необхідного управляючого впливу для оптимальної корекції ДПП, $p^* \in [p_{\min}, p_{\max}]$ представимо в такому виді:

1. Зафіксуємо вектор значень вхідних параметрів ІТС $M^* = [m_1^*, m_2^*, \dots, m_n^*]$.

2. Визначимо значення функцій належності $\mu^{s_i^{jp}}$ для значень змінних $m_1^* - m_n^*$.

3. Використовуючи логічні рівняння (8), визначаємо функції належності $\mu^{v_j}(m_1, m_2, \dots, m_n)$ вектору M^* для всіх значень v_j , $j = \overline{1, r}$, вихідний змінної ІТС p .

4. Визначимо результуючу функцію належності, яка характеризує необхідний вплив (оптимальна корекція ДПП).

Розвиток ІАТС згруповано за пріоритетним напрямком інтеграції транспортних засобів у транспортну інфраструктуру за рахунок використання відкритих додатків у комп'ютерних системах транспортних засобів і програмному забезпеченні ІАТС, що дозволяє забезпечити сумісність інформаційних систем і автоматично передавати дані, необхідні для оптимального управління.

Висновки. Підводячи підсумки, варто зазначити про те, що для ІАТС характерними ознаками є адаптивність до розвитку збійної ситуації в аеропорту, вміння формувати своєчасні та коректні підказки оператору по зменшенню часу простою ПК в аеропорту.

ІАТС пропонується побудувати з використанням блочно-ієрархічного підходу, з урахуванням зв'язку між рівнями системи та підсистем на кожному рівні, а також фізичної та інформаційної архітектури. Вирішення питання формалізації процесу ухвалення на базі нечіткої логіки, варто відмітити, що перше представлення вхідних параметрів ІАТС у вигляді лінгвістичних змінних з нечіткими множинами (від'ємне велике, від'ємне мале, нуль, додатне велике і так далі) дозволяє описати причинно-наслідкові зв'язки «вхідні параметри-управляючий вплив», на природній мові за допомогою нечітких логічних висловлювань. Розроблені матриці знань дозволяють формалізувати поточну ситуацію в аеропорту у вигляді нечітких логічних висловлювань, що зв'язують лінгвістичні змінні і вихідне управління для зменшення часу простою повітряних кораблів.

Розробка сучасних ІАТС пов'язана зі значними фінансовими витратами, але з огляду на їх стратегічну значимість для розвитку авіаційного транспорту, вкрай важливо синтезувати елементи цих системі розвивати авіаційний транспорт з урахуванням необхідності в майбутньому впровадження «бази даних» до комплексної ІАТС.

Перспектива подальших досліджень. Впровадження ІАТС у регіональні аеропорти України дозволить підвищити ефективність управління муніципальними аеропортами, що функціонують в умовах невизначеності своєчасної та коректної підказки для формування необхідних управлінських рішень, що дозволить зменшити час виходу зі збійної ситуації.

Бібліографічні посилання

1. Голотюк М.В. Інтелектуальні транспортні системи в управлінні перевезення вантажів. Вісник Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка. 2013. №192. С. 12-16.

2. ДСТУ EN 16157-3:2018. Національний стандарт України. Специфікації обміну даними DATEX II для керування дорожнім рухом та інформації про дорожній рух. Частина 3. Публікація поточної ситуації (EN 16157-3:2018, IDT). Київ, 2018. С.6-10.

3. Інтелектуальні транспортні системи. Стійкий розвиток транспортної системи. зб. Матеріалів для політиків міст. 2007. С.40.

4. Інтелектуальний транспорт України // Прес-реліз: URL:
5. <https://its-ukraine.org/прес-реліз-інтелектуальний-транспорт/?lang=uk> (дата звернення 10.09.2020).
6. Кабашкин И.В. Интеллектуальные транспортные системы: интеграция глобальных технологий будущего. *Транспорт Российской Федерации*. 2010. №2 (27).
7. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. Пер. с англ./ под ред. Р.Р. Ягера. Москва. 1986. 408 с.
8. Наукові публікації, Економічний аналіз. Вип. №11. Київ, 2012. URL: [bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&121DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/ecan_2012_11\(3\)_54.pdf](http://bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&121DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/ecan_2012_11(3)_54.pdf) (дата звернення: 11.09.2020).
9. Проектирование систем управления на ЭВМ (MATLAB/Simulink/Control System) // А.Ю. Соколов, Ю.Н. Соколов, В.М. Илюшко та др.; под ред. А.Ю. Соколова. Харьков, 2005. 590 с.
10. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница, 1999. 320 с.
11. Ротштейн О.П. Штовба С.Д. Проектування нечітких баз знань: Лабораторний практикум. Вінниця, 2013. 64 с.
12. Рудзінський В.В. Транспортні засоби: навч. посіб. Київ. 2001. 136.
13. Рудзінська О.В., Процеси розвитку автотранспортних технологій в інтелектуальних транспортних системах. *Вісник ЖДТУ*. №2 (77). 2016. С.11-14.
14. Циган. Р.М., Кравченко А.О. Методичні підходи до управління транспортною інфраструктурою в Україні. Стат.зб. / Ефективна економіка. Кременчук. 2013. С.11-14.

Статтю подано до редакції 29.11.2020