

Є. А. Гришманов, А. С. Могілатенко, Ю. А. Данілов

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСПРИЯТЛИВИХ АВІАЦІЙНИХ ПОДІЙ В ПОЛЬОТІ

В роботі розроблена інформаційна технологія автоматизованого прогнозування несприятливого авіаційних подій в польоті з використання глибоких нейронних мереж для вирішення задач розпізнавання і запобігання несприятливих авіаційних подій є мало розглянутими і вимагають подальших досліджень. Запропоновано реалізація розробленої інформаційної технології (ІТ) в чотири етапи: підготовчий, основний, додатковий та заключний. Перший (підготовчий) етап функціонування ІТ виконується до початку прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Вхідні дані задаються у вигляді архівних текстових повідомлень про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел. Вихідні дані включають топологію та вагові коефіцієнти згорткової нейронної мережі (ЗНМ), які передаються для виконання основного етапу функціонування ІТ. Основний, додатковий та заключний етапи функціонування ІТ виконуються в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Вхідними даними для відповідних етапів є текстові повідомлення про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел, а також топологія та вагові коефіцієнти ЗНМ, отримані на підготовчому етапі з використанням модулю рекурентної нейронної мережі (LSTM). Вихідними даними основного етапу функціонування ІТ є задокументована інформація щодо результатів прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Розроблена ІТ технологія дозволяє реалізувати процес автоматизованого прогнозування несприятливого авіаційних подій в польоті з використанням глибоких нейронних мереж, з чітко визначеною і взаємозалежною сукупністю етапів, з можливістю подальшого розпаралелювання виконання їх процедур, з урахуванням особливостей подання (формалізації) знань про розпізнавання несприятливих авіаційних подій в польоті по текстовій інформації, що отримана та узагальнена від різних джерел за результатами контролю повітряного простору.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, автоматизація, глибока нейронна мережа, прогнозування, несприятливий авіаційна подія, політ, літальний апарат.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Як показує аналіз документів по дослідженню авіаційних подій, на даний час в світі стан безпеки польотів у цивільній авіації залишається незадовільним [1 - 3]. Одним із сучасних підходів до вирішення проблеми підвищення безпеки польотів є впровадження в практику роботи органів систем управління повітряним рухом автоматизованих систем прогнозування і запобігання несприятливих авіаційних подій в польоті на основі використання відповідної інформаційної технології.

В даний час існує значна кількість досліджень присвячених окремим питанням автоматизованого розпізнавання несприятливих авіаційних подій в основному з використанням математичних імовірнісних методів оцінювання ризику. Однак на сучасному етапі дані імовірнісні методи не є повними, універсальними, часто не цілком адекватними, важко алгоритмізується. У зв'язку з цим виникає необхідність додаткової розробки нових моделей з використанням не тільки імовірнісного підходу. Одним з таких підходів є підхід, заснований на використанні моделей і методів штучного інтелекту. Зокрема для формального представлення процесу рішення задачі прогнозування і запобігання несприятливих авіаційних подій в польоті можуть бути використані глибокі нейронні мережі, наприклад згорткові і рекурентні нейронні мережі [4]. При цьому питання комплексного підходу до автоматизації процесу прогнозування несприятливих авіаційних подій з використанням нейронних мереж є недостатньо дослідженими. Для існуючих інформаційних технологій розпізнавання несприятливих авіаційних подій характерно

досить умовний поділ даного процесу на нечітко сформульовані етапи, що в свою чергу ускладнює управління веденням процесу розпізнавання, не дозволяє мінімізувати необхідний обсяг робіт з контролю виникнення несприятливого авіаційних подій, ускладнює розподіл функціональних обов'язків серед посадових осіб органів управління. В подальшому під інформаційною технологією будемо розуміти прийоми, способи і методи виконання функцій збору, зберігання, обробки, передачі і використання інформації [5].

Таким чином, в предметній області має місце протиріччя, що полягає, з одного боку, в необхідності розробки інформаційної технології для автоматизованих систем розпізнавання несприятливих авіаційних подій на основі нейромереж, з іншого боку, в обмежених можливостях існуючих інформаційних технологій розпізнавання несприятливих авіаційних подій при комплексному поданні і накопиченні знань як про процеси розпізнавання.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В даний час існує значна кількість робіт, присвячених окремим питанням автоматизації вирішення завдань щодо запобігання авіаційним подіям [6-10]. При цьому, безпосередньо питання розробки інформаційної технології автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з використання глибоких нейронних мереж для вирішення задач розпізнавання і запобігання авіаційних подій є мало розглянутими і вимагають подальших досліджень.

**Мета статті.** Розробка інформаційної технології автоматизованого прогнозування несприятливого авіаційних подій в польоті з використання глибоких нейронних мереж.

## Основний матеріал

В загальному випадку інформаційна технологія автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті реалізується за рахунок використання:

- вхідних даних (текстових повідомлень про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел);
- вихідних даних (задокументована інформація щодо результатів прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті);

– модуля підготовки до функціонування (навчання), який включає процедури, що реалізують метод формування навчальної вибірки за звітами про результати розслідування авіаційних подій та навчання гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті;

– модуля обробки даних, який включає процедури попередньої обробки текстових повідомлень про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел; процедури, що реалізують метод автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на наземному пункті управління або на борту літального апарату (ЛА);

– модуля зберігання, який включає процедуру документування даних, отриманих в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті та засоби її зберігання;

– модуля передачі даних, який включає процедуру передачі результатів прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті споживачам та засоби їх передачі.

Розроблена ІТ реалізується в чотири етапи підготовчий, основний, додатковий та заключний (рис. 1, 2) та формально задається у вигляді такого кортежу:

$$IT = \langle \{P_i\}, \{O_i\}, \{D_i\}, \{Z_i\} \rangle, \quad (1)$$

де  $\{P_i\}$  – множина процедур, що виконуються на підготовчому етапі;  $\{O_i\}$  – множина процедур, що виконуються на основному етапі;  $\{D_i\}$  – множина процедур, що виконуються на додатковому етапі;  $\{Z_i\}$  – множина процедур, що виконуються на заключному етапі.

Кожний етап складається з окремих процедур, направлених на збір, обробку, зберігання та передачу інформації в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Перший (підготовчий) етап функціонування ІТ виконується до початку прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Вхідні дані задаються у вигляді архівних текстових повідомлень про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел. Вихідні дані включають топологію та вагові коефіцієнти ЗНМ, які передаються для виконання основного етапу функціонування ІТ.

Підготовчий етап функціонування ІТ включає процедури, визначені на рис. 1.

Процедура П.1 – визначення алфавіту класів несприятливих авіаційних подій в польоті та побудова розміченого набору даних. Аналізується повітряна обстановка, визначаються несприятливі авіаційні події в польоті з найбільшим пріоритетом, оп-

тимальна потужність алфавіту класів для обстановки, що склалася. Виконується побудова розміченого набору даних для кожного класу несприятливих авіаційних подій в польоті.

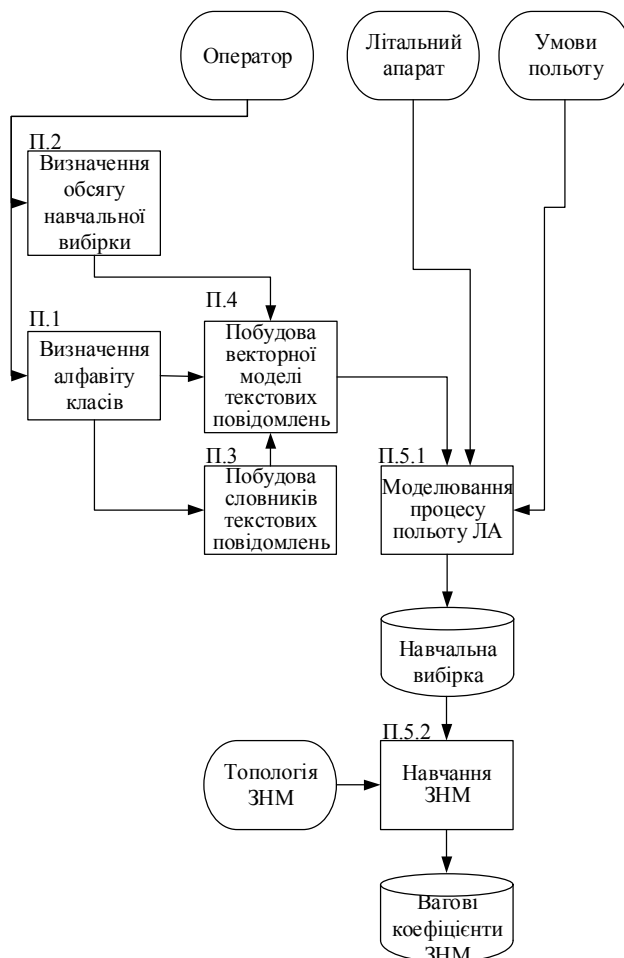


Рис. 1. Структурна схема підготовчого етапу ІТ автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті

Процедура П.2 – визначення мінімального обсягу репрезентативної навчальної вибірки у вигляді текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті. Вибірка для навчання гібридної нейронмережевої моделі для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті вважається репрезентативною, якщо виконуються умови достатності, різноманітності, рівномірності.

Процедура П.3 – побудова словників текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті. При цьому використовується міра значимості слів (словосполучень) у вигляді вагових значень слова в словнику. Використання вагових значень слова в словнику замість частоти їх зустрічі дозволяє акцентувати увагу при використанні словника на словах, унікальних для конкретного класу несприятливих авіаційних подій в польоті.

Процедура П.4 – побудова векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті по розміченому набору даних на основі моделі SBOW. Передбачений вектор моделі є важливим тільки в контексті навчання, коли резуль-

тати навчання сходяться, вихідний вектор моделі ігнорується. Підсумкова векторна модель навчальної вибірки забезпечує можливість використання глибоких нейронних мереж для аналізу текстових повідомлень про авіаційні події в реальному часі і є основою для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Процедура П.5 – навчання гібридної нейромережевої моделі і формування значень ваг шару Embedding для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з попереднім моделюванням польоту ЛА. Процедура навчання гібридної нейромережевої моделі для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті визначається алгоритмом навчання нейронної мережі на основі модуля LSTM. Як навчальної вибірки використовуються структуровані дані у вигляді звітів про результати розслідування несприятливих авіаційних подій в польоті. На

основі технології transfer learning, на вхід ЗНМ для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті передається налаштований в процесі навчання шар Embedding. ЗНМ донавчається з використанням навчальної вибірки у вигляді неструктурованих даних про поточну обстановку в польоті.

Основний, додатковий та заключний етапи функціонування ІТ виконуються в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Вхідними даними для відповідних етапів є текстові повідомлення про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел, а також топологія та вагові коефіцієнти ЗНМ, отримані на підготовчому етапі. Вихідними даними основного етапу функціонування ІТ є задокументована інформація щодо результатів прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Основний, додатковий та заключний етапи функціонування ІТ включають процедури, визначені на рис. 2.

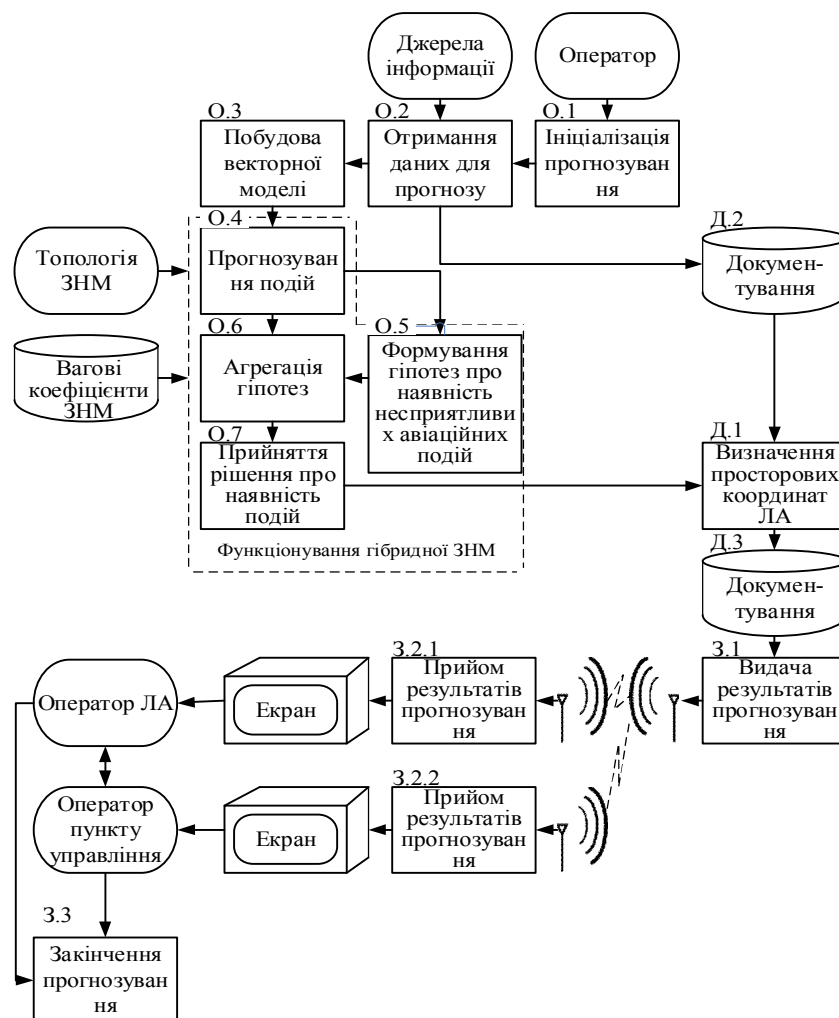


Рис. 2. Структурна схема основного, додаткового та заключного етапів ІТ автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті

Процедура О.1 – ініціалізація процесу автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Ініціалізація може здійснюватися з початком або безпосередньо під час польоту. Виконання процедури є командою на одночасний запуск процедур О.2, О.3.

Процедура О.2 – отримання даних здійснюється автоматично шляхом зчитування інформації від зовнішніх джерел інформації. Ця інформація включає дані текстових повідомлень від зовнішніх джерел в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Процедура О.3 – автоматична побудова векторної моделі текстових повідомлень від зовнішніх джерел в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Здійснюється аналогічно відповідній процедурі побудови векторної моделі текстових повідомлень по навчальним прикладі, яка виконується при формуванні навчальної вибірки відповідно до П.4. Процедура О.4 – прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі функціонування навченої гібридної нейромережевої моделі здійснюється автоматично та включає основні етапи функціонування нейромережевої моделі: представлення вхідних слів в шарі даних у вигляді тривимірного масиву (тензора); реалізація прямого проходу загальних шарів ЗНМ прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті; реалізація механізмів функціонування модулів «insertion»; реалізація прямого проходу шарів класифікації ЗНМ.

Процедура О.5 – формування гіпотез про наявність несприятливих авіаційних подій в польоті здійснюється автоматично з отриманням кожного прогнозу. Карти ознак на виході модулів «insertion» об'єднуються в один загальний вектор ознак. Він подається на вхід прихованого повнозв'язного шару, а потім надходить на вихідний шар нейронної мережі, де і розраховуються підсумкові мітки класів для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Процедура О.6 – агрегація гіпотез про наявність несприятливих авіаційних подій в польоті здійснюється автоматично з отриманням вектору ознак та гіпотез про наявність несприятливих авіаційних подій в польоті згідно процедури О.5 використовуючи при цьому головну властивість нейронних мереж щодо узагальнення.

Процедура О.7 – прийняття рішення про наявність несприятливих авіаційних подій в польоті здійснюється безпосередньо оператором на основі попередніх результатів автоматичної агрегації згідно процедури О.6 та визначеного алфавіту класів.

Процедура Д.1 – визначення просторових координат об'єктів (ЛА) несприятливих авіаційних подій в польоті за даними від зовнішніх джерел інформації. Процедура Д.2 – здійснює документування отриманої інформації для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті для визначеного ЛА. Здійснюється автоматично на протязі всього

часу прогнозування. Процедура Д.3 – здійснює документування результатів автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті для визначеного ЛА. Здійснюється автоматично на протязі всього часу прогнозування.

Процедура З.1 – з отриманням інформації про виявлення несприятливих авіаційних подій в польоті, визначених в алфавіті класів, формується, та передається каналами зв'язку донесення відповідним споживачам. Здійснюється у разі виявлення несприятливих авіаційних подій в польоті. Процедура З.2 – виконується або на наземному пункті і відображає отриману інформацію на екран оператора для корегування управління ЛА, або безпосередньо на борту ЛА. Здійснюється для прийняття рішення щодо запобігання розвитку несприятливих авіаційних подій в польоті. Процедура З.3 – закінчення прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті здійснюється оператором в залежності від обстановки та у разі закінчення польоту ЛА.

Таким чином, розроблена інформаційна технологія автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті із застосуванням глибоких ЗНМ дозволяє приймати, обробляти, зберігати та передавати інформацію за результатами виявлення та класифікації несприятливих авіаційних подій при польоті ЛА.

## Висновки

Таким чином, запропонована в статті інформаційна технологія дозволяє реалізувати процес автоматизованого прогнозування несприятливого авіаційних подій в польоті з використанням глибоких нейронних мереж, з чітко визначеною і взаємозалежною сукупністю етапів, з можливістю подальшого розпаралелювання виконання їх процедур, з урахуванням особливостей подання (формалізації) знань про розпізнавання несприятливих авіаційних подій в польоті по текстовій інформації, що отримана та узагальнена від різних джерел за результатами контролю повітряного простору.

Перспективами подальших досліджень у цьому напрямку може бути розробка пропозицій по створенню бази знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для автоматизованого прогнозування несприятливого авіаційних подій в польоті.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Справка. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в первом полугодии 2018 г. Режим доступа: <https://mak-iac.org/upload/iblock/5b0/bp-18-1.pdf>.
2. Safety Report 2013. IATA, Montreal-Geneva, 2014..
3. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations 1959-2008, Boeing Commercial Airplanes, Seattle, Washington 98124-2207, USA.
4. Павленко М.А. Модель функціональної діяльності оператора автоматизованої системи управління повітряним рухом / М.А. Павленко, С.Г. Шило, О.М. Дмитрієв // Системи управління, навігації та зв'язку. Випуск 4 (50). – Полтава.: ПНТУ, 2018. – С. 17-21.
5. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення: ДСТУ 2481-94. Київ: Держстандарт України, 1994. 74 с.
6. Куклев Е.А. Оценивание уровня безопасности полетов в гражданской авиации в рискованных ситуациях на основе цепей случайных событий.// Наука и техника транспорта 2003, № 2., С. 4-14.
7. Шаров, В.Д. Методология применения комбинированного метода FMEA-FTA для анализа риска авиационного события [Текст] / В.Д. Шаров, В.П. Макаров // Научный вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта. Безопасность полетов, №174, 2011. - С. 18-24.

8. 5. Зубков, Б.В. Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов [Текст] / Б.В. Зубков, В.Д. Шаров – М: МГТУ ГА, 2010. - 196 с.
9. Шаров В.Д. Методика оценки вероятности выкатывания воздушных судов за пределы ВПП при посадке // Научный вестник МГТУ ГА. Серия «Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов». 2007. - № 122. - С. 61-66.
10. Автоматизированная система прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок. Этап 4 Адаптация разработанных алгоритмов и программных средств АС: отчет о НИР / руководитель темы А.А. Бутов. – Ульяновск: УлГУ, 2012. – 317 с.
11. Павленко М. А. Напрями розробки інтелектуальних моделей та методів обробки інформації для управління процесом інформаційної підтримки прийняття рішень в автоматизованих системах управління повітряним рухом / М. А. Павленко, S. Shilo, I. Borosenets, O. Dmitriev // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Т. 5 (51). – С. 24-28. – doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.024.
12. Nesmiiian O. Метод аналізу та обробки інформації в СППР АСУ / O. Nesmiiian, M. Pavlenko // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Т. 5 (51). – С. 106-110. – doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.106.
13. 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. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2018. – 6 (52). – С. 25-29.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М. А. Павленко,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Київ

Received (Надійшла) 24.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

### **Разработка информационной технологии автоматизированной прогнозирования неблагоприятных авиационных событий в полете**

С. А. Гришманов, А. С. Могілатенко, Ю. А. Данілов

В работе разработана информационная технология автоматизированного прогнозирования неблагоприятного авиационных событий в полете с использованием глубоких нейронных сетей для решения задач распознавания и предотвращения неблагоприятных авиационных событий мало рассмотренными и требуют дальнейших исследований. Предложенная реализация разработанной информационной технологии (ИТ) в четыре этапа: подготовительный, основной, дополнительный и заключительный. Первый (подготовительный) этап функционирования ИТ выполняется до начала прогнозирования неблагоприятных авиационных событий в полете. Входные данные задаются в виде архивных текстовых сообщений о ситуации в полете по данным от внешних источников. Выходные данные включают топологию и весовые коэффициенты сверточных нейронной сети (СНС), которые передаются для выполнения основного этапа функционирования ИТ. Основной, дополнительный и заключительный этапы функционирования ИТ выполняются в процессе прогнозирования неблагоприятных авиационных событий в полете. Входными данными для соответствующих этапов текстовые сообщения о ситуации в полете по данным от внешних источников, а также топология и весовые коэффициенты СНС, полученные на подготовительном этапе с использованием модуля рекуррентной нейронной сети (LSTM). Исходными данными основного этапа функционирования ИТ является документированная информация о результатах прогнозирования неблагоприятных авиационных событий в полете. Разработана ИТ технология позволяет реализовать процесс автоматизированного прогнозирования неблагоприятного авиационных событий в полете с использованием глубоких нейронных сетей, с четко определенной и взаимосвязанной совокупности этапов, с возможностью дальнейшего параллелизации выполнения процедур, с учетом особенностей представления (формализации) знаний о распознавании неблагоприятных авиационных происшествий в полете по текстовой информации, полученной и обобщенная от различных источников по результатам контроля воздушного пространства.

**Ключевые слова:** информационная технология, автоматизация, глубокая нейронная сеть, прогнозирование, неблагоприятный авиационное происшествие, полет, летательный аппарат.

### **Development of information technology of automated forecasting of non-related aviation events in field**

E. Grishmanov, A. Mogilatenko, Yu. Danilov

In the work the information technology of automated forecasting of unfavorable aviation events in flight with the use of deep neural networks for solving problems of recognition and prevention of adverse aviation events is considered little and requires further research. The implementation of the developed information technology (IT) is proposed in four stages: preparatory, main, supplementary and final. The first (preparatory) stage of IT functioning is performed before the forecast of unfavorable aviation events in the flight. The input data is set in the form of archived text messages about the situation in the flight based on data from external sources. Outputs include the topology and weights of the convolutional neural network (NNN) that are transmitted to perform the main stage of the functioning of the IT. Basic, additional and final stages of IT functioning are performed in the process of forecasting unfavorable aviation events in flight. The inputs for the relevant steps are text messages about the situation in the flight based on data from external sources, as well as the topology and ZNM weights obtained at the preparatory stage using the recurrent neural network module (LSTM). The initial data of the main stage of IT functioning is the documented information on the results of forecasting unfavorable aviation events in the flight. The developed IT technology allows to realize the process of automated forecasting of unfavorable aviation events in flight using deep neural networks, with a clearly defined and interrelated set of stages, with the possibility of further parallelizing the implementation of their procedures, taking into account the peculiarities of presentation (formalization) of knowledge about the recognition of unfavorable aviation events in flight on textual information obtained and summarized from various sources on the results of airspace control.

**Keywords:** information technology, automation, deep neural network, forecasting, unfavorable aviation event, flight, aircraft.