

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬОТНА АКАДЕМІЯ
НАЦІОНАЛЬНОГО АВІАЦІЙНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ГРИШМАНОВ ЄВГЕНІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 681.5:629.072.18(043.3)

**МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСПРИЯТЛИВИХ
АВІАЦІЙНИХ ПОДІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ПРИ
УПРАВЛІННІ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ**

05.22.13 – Навігація та управління рухом

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Кропивницький – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Льотній академії Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Неділько Віталій Миколайович,
Льотна академія Національного авіаційного університету
Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри
інформаційних технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Павленко Максим Анатолійович,
Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба Міністерства оборони України,
начальник кафедри математичного та програмного
забезпечення АСУ

доктор технічних наук, професор
Осадчий Сергій Іванович,
Центральноукраїнський національний технічний
університет Міністерства освіти та науки України,
завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів

Захист відбудеться "03" жовтня 2019 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 23.144.01 при Льотній академії Національного авіаційного університету за адресою:

25005, м. Кропивницький, вул. Добровольського, 1а.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Льотної академії Національного авіаційного університету за адресою: 25005, м. Кропивницький, вул. Добровольського, 1а.

Автореферат розісланий "02" вересня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 23.144.01



Ю.Г. Ковальов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Одним із сучасних підходів до вирішення проблеми підвищення безпеки польотів є впровадження в практику роботи органів систем управління повітряним рухом автоматизованих систем підтримки прийняття рішень при оцінці ризику для безпеки польоту і, зокрема, при прогнозуванні та запобіганні несприятливих авіаційних подій в польоті. Основою функціонування такої системи є, перш за все, її математичне та програмне забезпечення.

На даний час стан проблеми розробки моделей і алгоритмів підсистеми прогнозування і запобігання несприятливих авіаційних подій в польоті визначається з одного боку рівнем розвитку математичних методів, а з іншого - потребами прикладної області, розвиток якої зазнає постійне прискорення і веде до якісного і структурного ускладнення досліджуваного об'єкта. Спочатку істотний вплив на розвиток систем подібного класу надали математичні імовірнісні методи оцінювання ризику.

Однак на сучасному етапі дані імовірнісні методи не є повними, універсальними, часто не цілком адекватними та є такими, що важко алгоритмізуються. 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. Одним з ефективних підходів для формального представлення процесу рішення задачі прогнозування і запобігання несприятливих авіаційних подій в польоті є підхід, заснований на використанні методів і моделей глибокого навчання, зокрема глибоких нейронних мереж (далі НМ). Безпосередньо завдання прогнозування виникнення авіаційної події деякого класу може розглядатися як завдання прогнозування подій за результатами аналізу текстових повідомлень, які формуються в ході збору даних від різних джерел інформації в процесі управління повітряним рухом. При цьому питання комплексного підходу до автоматизації процесу прогнозування несприятливих авіаційних подій з використанням нейромереж є недостатньо дослідженими. Для існуючих методів оцінки ризику для безпеки польотів притаманний досить умовний поділ даного процесу на нечітко сформульовані етапи, що в свою чергу ускладнює управління веденням процесу розпізнавання несприятливих авіаційних подій, не дозволяє мінімізувати необхідний обсяг робіт з контролю виникнення несприятливих авіаційних подій, ускладнює розподіл функціональних обов'язків серед посадових осіб органів управління тощо.

Таким чином, у предметній області, що розглядається має місце протиріччя, яке полягає, з одного боку, в необхідності вдосконалення математичного та програмного забезпечення автоматизованих систем управління для підвищення якості оцінки ризику для безпеки польотів, з іншого боку, у відсутності ефективних методів та моделей для вирішення задачі прогнозування і попередження несприятливих авіаційних подій в польоті, що враховують різнотипні підходи до виявлення факторів небезпеки та забезпечують комплексне

подання і накопичення знань про процеси прогнозування. Розглянуте протиріччя визначає актуальність теми дисертації та необхідність вирішення відповідної наукової задачі.

Наукове завдання полягає в удосконаленні методів автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті для підвищення якості оцінки ризику для безпеки польотів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проведені в рамках: основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук НАН України на 2014-2018 роки, затверджених постановою Президії НАН України від 20.12.2013 № 179 та рекомендовані для використання науковими установами, вищими навчальними закладами рішенням Ради президентів академій наук України від 11.08.2014; держбюджетної теми «Розробка та впровадження системи віддаленої тренажерної підготовки авіадиспетчерів на базі інтелектуальних процедурних тренажерів», №ДР 0112U002683, а також тісно пов'язані зі «Стратегічним планом розвитку авіаційного транспорту на період до 2020 року»; №0109U000970 «Розробка системи оцінювання ефективності прийняття рішень людиною-оператором авіаційної ергатичної системи в неочікуваних умовах експлуатації повітряного судна з урахуванням психофізіологічних якостей пілота і диспетчера»; РК №0111U001981 «Розробка системи підтримки прийняття рішень людиною-оператором авіаційної ергатичної системи при виникненні особливих випадків в польоті»; РК №0113U000473 «Інформаційно-аналітичний діагностичний комплекс для дослідження закономірностей діяльності операторів і їх колективів в аеронавігаційній системі».

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення якості оцінки ризику для безпеки польотів за рахунок впровадження технології автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Для досягнення мети в роботі поставлені і вирішені наступні часткові задачі:

- аналіз напрямків досліджень в області прогнозування і попередження несприятливих авіаційних подій в польоті;
- розробка методу прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових і рекурентних нейронних мереж;
- вдосконалення методу формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті;
- вдосконалення методу автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж;
- оцінка ефективності вдосконалених методів технології автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж.

Об'єкт дослідження – процес оцінки ризику для безпеки польотів.

Предмет дослідження – методи автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Методи дослідження. Для розробки методів та моделей автоматизованого

прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті використовувалися методи структурного аналізу. При удосконаленні методу формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій використовувалася теорія машинного навчання. Для розробки методу прогнозування несприятливих авіаційних подій на основі згорткових і рекурентних нейронних мереж використовувалася теорія нейронних мереж. Для розробки програмної реалізації підсистеми автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті використовувалися методи об'єктно-орієнтованого аналізу, проектування та програмування.

Наукова новизна отриманих результатів:

- розроблено метод прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж у якому, на відміну від відомих, вперше класифікація несприятливих авіаційних подій здійснюється на основі застосування згорткової нейронної мережі, а для початкового налаштування векторного шару гібридної моделі прогнозування використовується попередньо навчений шар рекурентної нейронної мережі;

– удосконалено метод формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті, що, на відміну від відомих, забезпечує побудову словника текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події з використанням міри значущості слів і векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційних подіях по розміченому набору даних з використанням моделі векторного представлення слів;

– одержала подальший розвиток модель автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті, яка, на відміну від відомих, базується на знання-орієнтованому представленні етапів оцінки ризику для безпеки польотів. Це дозволяє забезпечити інтелектуальну обробку даних для підвищення точності та повноти автоматизованої класифікації несприятливих авіаційних подій в польоті.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Реалізація розробленого методу прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових і рекурентних нейронних мереж дозволила автоматизувати процес прогнозування несприятливих авіаційних подій.

2. Реалізація удосконаленого методу формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті дозволила використовувати векторну модель навчальної вибірки у якості основи для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій.

3. Реалізація моделі автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті в підсистемі оцінки ризику для безпеки польотів дозволила отримати вииграш в точності та в повноті класифікації несприятливих авіаційних подій в середньому до 5%.

Результати дисертаційної роботи впроваджені:

- у тренажерному центрі автоматизованої системи керування повітряним

рухом «Юлія» (акт від 12.02.19);

- у військовій частині А-4608 в ході дослідних навчань (акт від 21.03.19).

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові положення, результати, висновки і рекомендації дисертаційної роботи отримані автором самостійно, роботи [1] виконано особисто автором.

В опублікованих у співавторстві наукових працях здобувачеві належать:

в роботі [2] обґрунтовано вибір та досліджено математичний апарат для побудови векторної моделі текстових повідомлень для навчання глибокої нейронної мережі прогнозуванню несприятливих авіаційних подій в польоті;

в роботі [3] запропоновано метод формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі для прогнозування аварійних подій в польоті;

в роботі [4] запропоновано модель побудови спеціального програмного забезпечення для автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті для автоматизованих систем управління повітряним рухом;

в роботі [5] запропоновано метод формування навчальної вибірки для гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на 4 науково-технічних та наукових конференціях: П'ятнадцятій науковій конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 10-11 квітня 2019 року (Харків, 2019) [6], Сучасні напрями розвитку і інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: матеріали дев'ятої міжнародної науково-технічної конференції 11-12 квітня 2019 року (Полтава, 2019) [7, 8], International scientific and practical conference “Application of information technologies in the preparation and operation of law enforcement forces”: March 15, 2019 (Харків, 2019) [9].

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи відображені у 9 наукових працях, серед них: 5 статей, опублікованих особисто і у співавторстві у збірниках наукових праць, що входять до переліку видань, дозволених МОН України для публікацій результатів досліджень з технічних наук (у тому числі 1 стаття опубліковані одноосібно, 5 статей - у журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами) та 4 матеріалів наукових та науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 183 сторінки, у тому числі 8 сторінок анотації; 116 сторінок основного тексту; 34 рисунки і 14 таблиць по тексту; список використаних джерел з 122 найменувань на 13 сторінках; 5 додатків на 40 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, визначений зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і

визначено основні завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, подано наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів із вказівкою відомостей про впровадження результатів роботи, описано особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію результатів роботи та публікації, а також структуру роботи.

У першому розділі проведено аналіз стану безпеки польотів в Україні і в світі. Досліджено основні підходи і вимоги провідних міжнародних організацій у сфері цивільної авіації до оцінки ризику для безпеки польотів. Проведено аналіз результатів досліджень в області автоматизації процесів прогнозування і попередження несприятливих авіаційних подій в польоті. На підставі проведеного аналізу виконана постановка задачі дослідження.

Аналіз поточного стану безпеки польотів в світі і в Україні свідчить про те, що має місце збільшення кількості нещасних випадків. Безпосередньо статистичний аналіз причин порушень порядку використання повітряного простору, які розслідувалися НБРЦА у 2018 році, показує, що переважна більшість порушень відбувалися внаслідок свідомого недотримання користувачами повітряного простору (експлуатантами повітряних суден) законодавства у сфері виконання польотів і використання повітряного простору. При цьому основний висновок полягає в тому, що у 2018 році при виконанні транспортних перевезень ПС української реєстрації, відносні показники стану безпеки польотів в цілому за останні 4 роки погіршилися. Так при експлуатації ПС сертифікованих компаній та навчальних закладів, загальний коефіцієнт аварійності по подіях високого рівня збільшився у 2018 році на 0,1 у порівнянні з 2017 роком, та складає 2,87 події на 100 000 льотних годин.

Дослідження основних підходів та вимог провідних міжнародних організацій у сфері цивільної авіації до оцінки ризику для безпеки польотів показало, що особлива увага приділяється питанням попереджувального управління ризиками. Безпосередньо процес управління ризиками для безпеки польотів може включати прогностичні методи аналізу даних про несприятливі авіаційні події в польоті. При цьому завдання прогнозування і попередження несприятливих авіаційних подій в польоті в роботі пропонується розглядати в контексті вирішення загального завдання оцінки ризику для безпеки польотів.

Аналіз автоматизації процесів управління повітряним рухом в Україні показав, що існуючі автоматизовані системи управління повітряним рухом, які експлуатуються в Україні в даний час, є достатньо потужними, проте, мають низку недоліків, серед яких – відсутність спроможностей щодо реалізації прогностичних методів аналізу даних про безпеку польотів. Аналіз результатів теоретичних досліджень в області формалізації і автоматизації процесів оцінки ризику для безпеки польотів показав, що результати існуючих досліджень не враховують комплексний підхід до виявлення факторів безпеки на основі реагуючого, проактивного і прогнозного підходів в процесі управління ризиком для безпеки польотів. Вирішення відповідних питань можливе за рахунок використання інтелектуальних технологій на основі методів та моделей глибокого навчання.

В цілому, проведений аналіз дозволив визначити актуальну наукову задачу

вдосконалення методів та моделей автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі методів та моделей глибокого навчання для підвищення якості оцінки ризику для безпеки польотів.

У другому розділі виконана формальна постановка задачі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Введено обмеження і допущення при розробці методу прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Проведено дослідження та вибір математичного апарату для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Розроблено метод прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових і рекурентних нейронних мереж.

Безпосередньо процес прогнозування виникнення авіаційної події деякого класу пропонується розглядати як задачу аналізу текстових повідомлень, які формуються за результатами збору даних від різних джерел інформації в процесі управління повітряним рухом. При цьому аналіз текстових повідомлень полягає у виділенні ключових слів з наступним автоматичним визначенням значення ймовірності виникнення авіаційної події певного класу.

Формально авіаційна подія представляється у вигляді наступного кортежу:

$$ACC_k = \langle K_s, Date_k, Time_k, Country_k, Place_k, TypeAir_k, Reg_k, Airline_k, Flight_k, (\{H_i\} \cup \{E_l\} \cup \{I_j\}) \rangle. \quad (1)$$

де

K_s – клас авіаційної події;

$Date_k$ – дата авіаційної події;

$Time_k$ – час авіаційної події;

$Country_k$ – країна, де відбулася авіаційна подія;

$Place_k$ – місце авіаційної події;

$TypeAir_k$ – тип повітряного судна;

Reg_k – реєстрація повітряного судна;

$Airline_k$ – авіакомпанія;

$Flight_k$ – рейс;

$\{H_i\} \cup \{E_l\} \cup \{I_j\}$ – опис авіаційної події.

В якості базового математичного апарату запропоновано використовувати рекурентні нейронні мережі RNN на базі модулів LSTM і згорткові нейронні мережі CNN. Аналіз можливостей мереж показав, що RNN на базі модулів LSTM ефективні насамперед при аналізі структурованого тексту, в якості якого розглядаються звіти про результати розслідування авіаційних подій. У свою чергу CNN ефективні при аналізі неструктурованого тексту, в якості якого в роботі розглядаються текстові повідомлення про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел.

Розроблено метод прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових CNN і рекурентних нейронних мереж. RNN на базі модулів LSTM. RNN в контексті вирішення завдання прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті використовуються для початкового налаштування шару

Embedding на структурованих навчальних даних в процесі навчання гібридної нейромережевої моделі, CNN використовуються в процесі безпосереднього функціонування гібридної нейромережевої моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Узагальнена структура методу прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі гібридної нейромережевої моделі з використанням згорткових і рекурентних нейронних мереж наведена на рисунку 1.

Метод включає наступні основні процедури і методи:

1) процедуру визначення базової архітектури нейромережевої моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Результат виконання даної процедури повністю визначається виходячи з результатів дослідження математичного апарату для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Відповідно до результатів дослідження архітектура моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті базується на гібридній моделі на основі CNN, яка використовується при функціонуванні гібридної нейромережевої моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті, і LSTM, яка використовується при навчанні гібридної нейромережевої моделі прогнозування;

2) процедуру визначення гіперпараметрів гібридної нейромережевої моделі для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з використанням CNN і LSTM;

3) процедуру навчання гібридної нейромережевої моделі і формування значень ваг шару Embedding для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з навчальною вибіркою, отриманої за результатами використання методу формування навчальної вибірки. При цьому в якості базової топології нейронної мережі використовується топологія LSTM;

4) процедуру побудови векторної моделі текстових повідомлень від зовнішніх джерел в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Дана процедура аналогічна відповідній процедурі побудови векторної моделі текстових повідомлень по навчальним прикладі, яка виконується при формуванні навчальної вибірки;

5) процедуру прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі функціонування навченої гібридної нейромережевої моделі з використанням CNN і попередньо навченого шару LSTM.

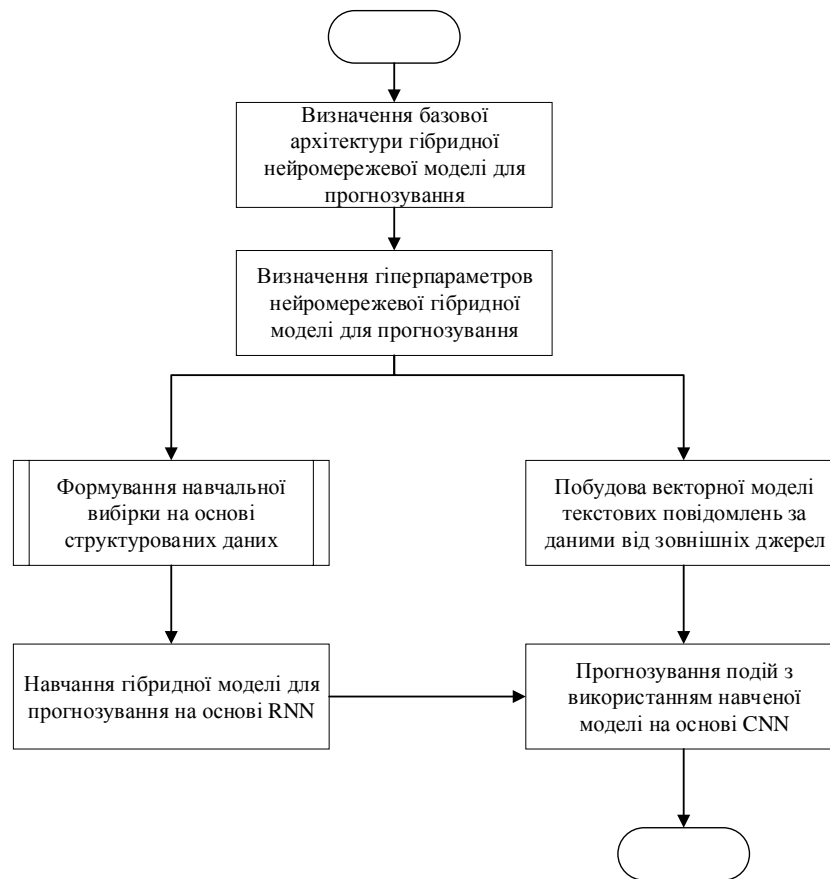


Рисунок 1 Узагальнена структура методу прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі гібридної нейромережевої моделі

У третьому розділі виконана формальна постановка завдання формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Введено обмеження і допущення при вдосконаленні методу формування навчальної вибірки. Проведено дослідження та вибір математичного апарату для побудови словника і векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті. Розроблено метод формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Формально постановку задачі формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті можна представити в наступному вигляді: необхідно побудувати таку модель текстових повідомлень, що описує певний клас авіаційної події K_S , яка може розглядатися у вигляді структури даних для подачі на вхід глибокої гібридної нейронної мережі, топологія якої представлена в розділі 2. В якості такої структури даних прийнято розглядати так звані векторні уявлення текстових повідомлень і слів (словосполучень). Уявімо результат побудови моделі навчальної вибірки M_{acc} у вигляді векторного уявлення слів (словосполучень) у відповідності з наступним відображенням:

$$M_{acc}: \{K_S\} \rightarrow \{D_l\}, \quad (2)$$

де:

D_l - формалізоване l -е текстове повідомлення про АП у вигляді вектора (w_1, w_2, \dots, w_V) ;

w_i - вага даного елемента текстового повідомлення (слово (уніграма), словосполучення (біграма));

V - множина унікальних елементів текстового повідомлення (уніграм, біграм).

В якості базового математичного апарату для побудови словника уніграм (біграм) пропонується використовувати запобіжний TF-ICF (з урахуванням рішення задачі багатовимірної класифікації), а в якості моделі векторного уявлення слів (словосполучень) пропонується використовувати модель SBOW (з урахуванням вимог до повноти і оперативності обробки текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті).

Розроблено метод формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Реалізація даного методу дозволяє сформувати алфавіт класів несприятливих авіаційних подій в польоті і побудувати розмічений набір даних; визначити мінімальний обсяг репрезентативної навчальної вибірки у вигляді текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті; побудувати словники текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті з використанням мір значущості слів (словосполучень); побудувати векторну модель текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті по розміченому набору даних використанням моделі векторного подання слів (словосполучень) SBOW. Отримана векторна модель навчальної вибірки є основою для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Узагальнена структура методу формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті приведена на рисунку 2.

Метод включає наступні основні процедури:

1) процедуру визначення алфавіту класів несприятливих авіаційних подій в польоті і побудова розміченого набору даних (текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті) згідно відображення (2);

2) визначення мінімального обсягу репрезентативної навчальної вибірки у вигляді текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті;

3) процедуру побудови словників текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті з використанням міри значущості слів (словосполучень);

4) процедуру побудови векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті по розміченому набору даних (з урахуванням попередньої обробки і побудови словників уніграм і біграм) з використанням моделі векторного представлення слів (словосполучень).



Рисунок 2 Узагальнена структура методу формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті

У четвертому розділі на основі методів автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з використанням згорткових нейронних мереж (CNN) та рекурентних нейронних мереж (RNN) і формування навчальної вибірки для навчання цієї гібридної нейронної мережі розроблено відповідний метод та оцінена ефективність його застосування.

Метод 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

прогнозуванню 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 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.

При розробці узагальненої структури метода автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті враховані наступні результати попередніх досліджень:

- модель прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті;

- визначені допущення та обмеження методу автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті;

- топологія гібридної нейронної мережі;

- метод автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті;

- метод формування навчальної вибірки для навчання гібридної нейронної мережі прогнозуванню несприятливих авіаційних подій в польоті.

Розроблений метод реалізується в чотири етапи: підготовчий, основний, додатковий та заключний. Кожний етап складається з окремих процедур, направлених на збір, обробку, зберігання та передачу інформації в процесі прогнозування.

Перший (підготовчий) етап функціонування виконується до початку прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Вхідні дані описані вище. Вихідні дані включають топологію та вагові коефіцієнти CNN, які передаються для виконання основного етапу функціонування.

По закінченні підготовчого етапу здійснюється копіювання файлів топології та вагових коефіцієнтів гібридної НМ з модуля підготовки до функціонування (навчання) до модуля обробки. Здійснюється перевірка правильності функціонування та підготовка до застосування за призначенням.

Основний, додатковий та заключний етапи функціонування моделі виконуються в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Вхідними даними для відповідних етапів є команди оператора на початок та закінчення прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті, а також топологія та вагові коефіцієнти гібридної НМ, отримані на підготовчому етапі. Вихідними даними основного етапу функціонування є прогнозування (класифікації) несприятливих авіаційних подій в польоті.

Здійснено моделювання процесу навчання гібридної НМ на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж з використанням фреймворків Keras та Tensorflow з визначенням оптимального значення коефіцієнта швидкості

навчання learning rate.

Для оцінки навченості гібридної НМ в контексті її навчання використовувалися показники:

- похибки навчання loss;
- точності навчання acc;
- похибки валідації val_loss;
- точності валідації val_acc.

На рисунку 3 наведено (з використанням можливостей TensorBoard) графік залежності правильного прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті від кількості епох навчання гібридної CNN виявленню та класифікації несприятливих авіаційних подій з визначеного алфавіту класів.

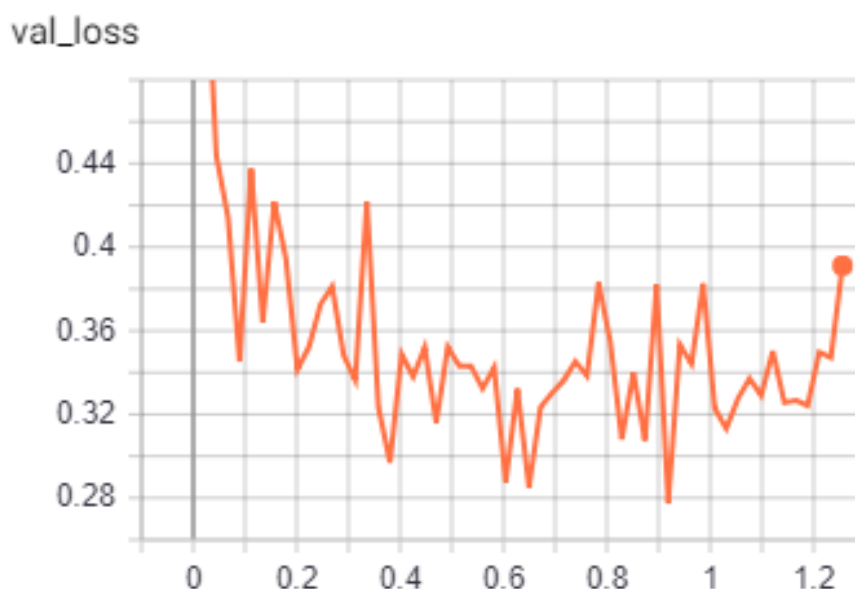


Рисунок 3 Залежність похибки валідації val_loss від епох навчання гібридної НМ

Проведено оцінку точності прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті в ході функціонування гібридної нейронної мережі з використанням запропонованої моделі.

За метрику для оцінки результатів класифікації несприятливих авіаційних подій в польоті на тестовій виборці розглядається:

- точність класифікації;
- повноту класифікації.

Під точністю *Prec* (*precision*) класифікації до класу (підкласу) розуміється частка коректно класифікованих несприятливих авіаційних подій в польоті серед всіх об'єктів, віднесених класифікатором до даного класу (підкласу). При цьому формально *Prec* визначається у відповідності до виразу:

$$Prec = \frac{Pos^{true}}{Pos^{true} + Pos^{false}} 100\% , \quad (3)$$

де Pos^{true} – кількість несприятливих авіаційних подій в польоті, вірно віднесених до даного класу (підкласу);

– Pos^{false} - кількість несприятливих авіаційних подій в польоті, помилково віднесених до даного класу (підкласу).

Під повнотою Rec (*recall*) класифікації до класу (підкласу) розуміється частка коректно класифікованих несприятливих авіаційних подій в польоті серед всіх об'єктів, що належать даному класу (підкласу). При цьому формально Rec визначається у відповідності до наступного виразу:

$$Rec = \frac{Pos^{true}}{Pos^{true} + Neg^{false}} 100\% , \quad (4)$$

де Neg^{false} – кількість несприятливих авіаційних подій в польоті, помилково віднесених до протилежного класу (підкласу).

Порівняльний аналіз результатів оцінки точності прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з використанням різних типів нейромережових класифікаторів представлені в табл. 1 і на рис. 4, 5 (у якості тестової вибірки використовувались приклади, які входять до навчальної та валідаційної вибірок).

Таблиця 1

Результати оцінки точності прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з використанням різних типів нейромережових класифікаторів

Тип нейромережового детектора	$Prec$, %	Rec , %
LSTM	82,7	81,6
класичні RNN	72,7	75,0
CNN	82,3	82,2
Розроблений в роботі підхід на основі гібридного нейромережового класифікатора	84,8	84,1



Рисунок 4 Порівняльний аналіз точності результатів:

- 1 - з використанням LSTM;
- 2 - з використанням класичних RNN;
- 3 - з використанням CNN;
- 4 - з використанням запропонованого в роботі нейромережевого класифікатора

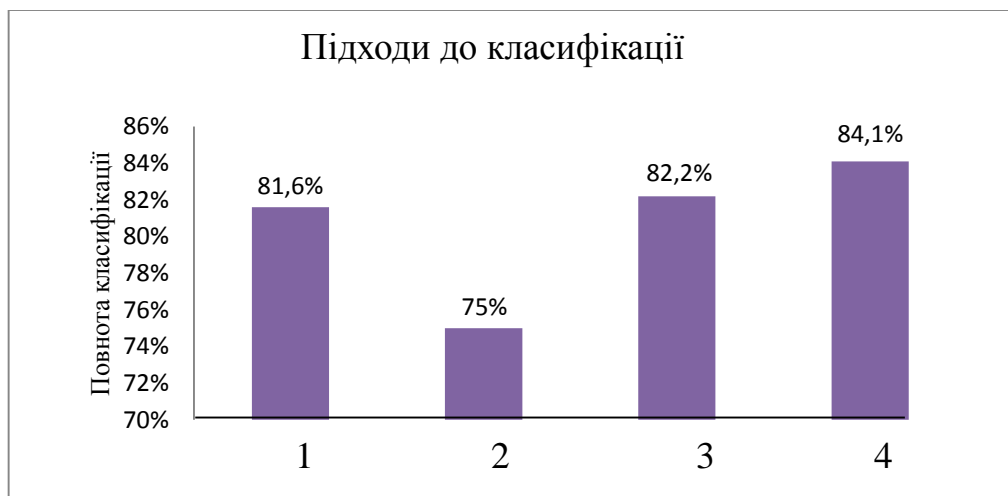


Рисунок 5 Порівняльний аналіз повноти результатів:

- 1 - з використанням LSTM;
- 2 - з використанням класичних RNN;
- 3 - з використанням CNN;
- 4 - з використанням запропонованого в роботі нейромережевого класифікатора

Порівняння отриманих результатів оцінки точності прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з використанням існуючих підходів на основі нейромережевих моделей класичних RNN, LSTM, CNN і запропонованого підходу на основі модифікованого нейромережевого класифікатора з комплексним

використанням CNN та RNN дозволяє зробити висновок, що застосування розробленої моделі, що реалізовує дану гібридну нейромережеву модель, дозволяє отримати вигаш в точності та в повноті класифікації несприятливих авіаційних подій в польоті в середньому до 5%.

У додатках містяться: список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації, приклад звіту про стан безпеки польотів у цивільній авіації з використанням якого виконується навчання гібридної нейронної мережі, приклад формування оцінних слів (уніграм) з відповідними вагами для текстових повідомлень про катастрофи, модель прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті (в частині навчання RNN на основі LSTM) та акти впровадження.

ВИСНОВКИ

Одним із сучасних підходів до вирішення проблеми підвищення безпеки польотів є впровадження в практику роботи органів систем управління повітряним рухом автоматизованих систем підтримки прийняття рішень при оцінці ризику для безпеки польоту і, зокрема, при прогнозуванні та запобіганні несприятливих авіаційних подій в польоті.

Спочатку істотний вплив на розвиток систем подібного класу надали математичні імовірнісні методи оцінювання ризику. Однак на сучасному етапі дані імовірнісні методи не є повними, універсальними, часто не цілком адекватними та є такими, що важко алгоритмізуються. 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. Одним з ефективних підходів для формального представлення процесу рішення задачі прогнозування і запобігання несприятливих авіаційних подій в польоті є підхід, заснований на використанні методів і моделей глибокого навчання, зокрема глибоких нейронних мереж. Для існуючих методів оцінки ризику для безпеки польотів притаманний досить умовний поділ даного процесу на нечітко сформульовані етапи, що в свою чергу ускладнює управління веденням процесу розпізнавання несприятливих авіаційних подій, не дозволяє мінімізувати необхідний обсяг робіт з контролю виникнення несприятливих авіаційних подій, ускладнює розподіл функціональних обов'язків серед посадових осіб органів управління тощо.

Таким чином, в предметній області має місце протиріччя, що полягає, з одного боку, в необхідності вдосконалення математичного та програмного забезпечення автоматизованих систем управління для підвищення якості оцінки ризику для безпеки польотів, з іншого боку, у відсутності ефективних методів та моделей вирішення задачі прогнозування і попередження несприятливих авіаційних подій в польоті, що враховують різнотипні підходи до виявлення факторів небезпеки та забезпечують комплексне подання і накопичення знань про процеси прогнозування. Розглянуте протиріччя визначає актуальність теми дисертації та необхідність вирішення відповідної наукової задачі.

Наукове завдання полягає в удосконаленні методів та моделей автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі методів та моделей глибокого навчання для підвищення якості оцінки ризику для безпеки польотів.

Для вирішення наукового завдання використовувалися відомі методи теорії нейронних мереж, глибокого навчання і програмної інженерії, які визначили необхідний склад і логічну послідовність розв'язання окремих задач дослідження:

1) аналіз напрямків досліджень в області прогнозування і попередження несприятливих авіаційних подій в польоті;

2) розробка методу прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових і рекурентних нейронних мереж;

3) вдосконалення методу формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті;

4) розробка моделі автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж;

5) оцінка ефективності удосконалення методів автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж.

Рішення часткових задач дослідження, визначених у структурі дисертації, дозволило отримати наступні нові наукові результати:

1. Розроблено метод прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж у якому, на відміну від відомих, вперше класифікація несприятливих авіаційних подій здійснюється на основі застосування згорткової нейронної мережі, а для початкового налаштування векторного шару гібридної моделі прогнозування використовується попередньо навчений шар рекурентної нейронної мережі.

2. Удосконалено метод формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті, що, на відміну від відомих, забезпечує побудову словника текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події з використанням міри значущості слів і векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події по розміченому набору даних з використанням моделі векторного представлення слів.

3. Одержала подальший розвиток модель автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті, яка, на відміну від відомих, базується на знання-орієнтованому представленні етапів оцінки ризику для безпеки польотів. Це дозволяє забезпечити інтелектуальну обробку даних для підвищення точності та повноти автоматизованої класифікації несприятливих авіаційних подій в польоті.

Аналіз та оцінка ефективності застосування удосконаленої моделі автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті показали, що в порівнянні з використанням існуючих підходів на основі нейромережевих моделей класичних RNN, LSTM, CNN и запропонованого підходу

на основі модифікованого нейромережевого класифікатора з комплексним використанням CNN та RNN дозволяє отримати вираш в точності та в повноті класифікації несприятливих авіаційних подій в польоті в середньому до 5%.

На користь достовірності наукових результатів свідчать: збіжність отриманих теоретичних результатів з експериментальними даними, отриманими при прогнозуванні несприятливих авіаційних подій в польоті, а також те, що отримані результати мають ясне фізичне трактування і не суперечать провідним положенням і результатам досліджень в даній області наук, наведеним в літературі [47-49].

Таким чином, сукупність нових наукових результатів, що включають розроблений метод прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових і рекурентних нейронних мереж, вдосконалені метод формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій та методу автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж, дозволяє вважати поставлене наукове завдання - вирішеним, а мету - досягнутою.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Гришманов Є. О. Вибір математичного апарату для побудови моделі прогнозування несприятливих авіаційних подій під час польоту / Є.О. Гришманов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – 5 (51). – С. 20-23.

2. Гришманов Є. О. Вибір математичного апарату для побудови векторної моделі текстових повідомлень для навчання глибокої нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті / Є. О. Гришманов, І. В. Захарченко, П. Г. Берднік [та ін.] // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2019. – Т. 2 (54). – С. 18-21.

3. Гришманов Е. А. Метод формирования обучающей выборки для обучения глубокой гибридной нейронной сети прогнозирования аварийных событий в рейсе / Е. А. Гришманов, О. Г. Матющенко, В. И. Нечитайло [та ін.] // Новітні технології – 2018. – Випуск 3(7). – С. 138-144.

4. Гришманов Є. О. Розробка інформаційної технології автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті / Є. О. Гришманов, А. С. Могілатенко, Ю. А. Данілов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2019. – Т. 1 (53). – С. 36-40.

5. Гришманов Є. О. Вдосконалення методу формування навчальної вибірки для гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій / Є. О. Гришманов, І. В. Захарченко, П. В. Кудюкін [та ін.] // Новітні технології. - 2019. – Випуск 1(8). – С. 213-223.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Гришманов Є. О. Розробка методу прогнозування несприятливих

авіаційних подій в польоті на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж / Є. О. Гришманов, І. П. Мажара // П'ятнадцята наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 10-11 квіт. 2019 р. : тези допов. – Харків, 2019. – С. 92.

7. Гришманов Є. О. Метод прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж / Є. О. Гришманов, Є. М. Дроб, О. П. Ковальчук // Сучасні напрями розвитку і інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: дев'ята міжн. наук.-техн. конф. 11-12 квіт. 2019 р. : матер. доп. – Харків, 2019. – С. 13.

8. Гришманов Є. О. Математичний апарат для побудови векторної моделі текстових повідомлень для навчання глибокої нейронної мережі / Є. О. Гришманов, П. Г. Берднік, А. В. Тристан // Сучасні напрями розвитку і інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління : дев'ятої міжн. наук.-техн. конф. 11-12 квіт. 2019 р. : матеріали доп. – Харків, 2019. – С. 14.

9. Гришманов Є. О. Метод автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті / Є. О. Гришманов, Г. А. Пухальська, А. В. Триста // Application of information technologies in the preparation and operation of law enforcement forces : International scientific and practical conference, March 15, 2019. – Харків, 2019. – С. 21-22.

АНОТАЦІЯ

Гришманов Є.О. Метод автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій для підвищення безпеки польотів при управлінні повітряним рухом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 “Навігація та управління рухом”. – Льотна академія Національного авіаційного університету Міністерство освіти і науки України, Кропивницький, 2019.

Дисертація спрямована на вирішення актуального наукового завдання щодо удосконалення методів та моделей автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі методів та моделей глибокого навчання для підвищення якості оцінки ризику для безпеки польотів.

Вперше розроблено метод прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових та рекурентних нейронних мереж у якому, на відміну від відомих, класифікація несприятливих авіаційних подій здійснюється на основі застосування згорткової нейронної мережі, а для початкового налаштування векторного шару гібридної моделі прогнозування використовується попередньо навчений шар рекурентної нейронної мережі.

Удосконалено метод формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті, що, на відміну від відомих, забезпечує побудову словника текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події з використанням міри значущості слів і векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події по

розміченому набору даних з використанням моделі векторного представлення слів.

Одержала подальший розвиток метод автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті, яка, на відміну від відомих, базується на знання-орієнтованому представленні етапів оцінки ризику для безпеки польотів. Це дозволяє забезпечити інтелектуальну обробку даних для підвищення точності та повноти автоматизованої класифікації несприятливих авіаційних подій в польоті.

Сукупність вдосконалених методів є науковою сутністю формалізації процесів автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Використання отриманих результатів дослідження забезпечить підвищення якості оцінки ризику для безпеки польотів за рахунок впровадження автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті в автоматизовані системи управління повітряним рухом. Результати проведених розрахунків та імітаційного моделювання оцінки ефективності методів та моделей, а також практичне впровадження отриманих результатів підтвердили адекватність запропонованих методів та моделей автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі методів та моделей глибокого навчання.

Реалізація розробленого методу прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі згорткових і рекурентних нейронних мереж дозволила автоматизувати процес прогнозування несприятливих авіаційних подій.

Реалізація удосконаленого методу формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті дозволила використовувати векторну модель навчальної вибірки у якості основи для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій.

Реалізація методу автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті в підсистемі оцінки ризику для безпеки польотів дозволила отримати вигреш в точності та в повноті класифікації несприятливих авіаційних подій в середньому до 5%.

Ключові слова: оцінка ризику, прогнозування, розпізнавання, несприятлива авіаційна подія в польоті, повітряне судно, безпека польоту, модель глибокого навчання, нейронна мережа, навчальна вибірка, формалізація, текстове повідомлення.

ANNOTATION

Grishmanov E.O. The method of automated forecasting of adverse aviation events to improve flight safety in air traffic control. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.22.13 - Navigation and traffic management. - Flight Academy of the National aviation university Ministry of education and science of Ukraine, Kropivnitsky, 2019.

The dissertation is aimed at solving the actual scientific problem of improving the

methods and models of automated forecasting of unfavorable aviation events in flight based on methods and models of in-depth training to improve the quality of risk assessment for flight safety.

For the first time, the method of forecasting unfavorable aviation events in flight based on convolutional and recurrent neural networks has been developed. Unlike the well-known, the classification of unfavorable aviation events is based on the use of a convolutional neural network, and for the initial setup of the vector layer of the hybrid model of forecasting, a pre-trained layer of recurrent neural network.

The method for forming a training sample for training the deep hybrid neural network for forecasting unfavorable aviation events in flight, which, unlike the known ones, provides the construction of a dictionary of text messages about unfavorable aviation events, using the measure of the importance of words and the vector model of text messages about adverse aviation events on the labeled a data set using a vector representation of words.

The method of automated forecasting of unfavorable aviation events in the flight, which, unlike the known ones, is based on the knowledge-oriented representation of the stages of risk assessment for flight safety, has been further developed. This enables intelligent data processing to improve the accuracy and completeness of the automated classification of adverse aviation events in flight.

The combination of advanced methods is the scientific essence of the formalization of the processes of automated forecasting of adverse aviation events in the flight. Using the results of the study will improve the quality of risk assessment for flight safety through the introduction of automated prediction of unfavorable aviation events in flight in automated air traffic control systems. The results of the performed calculations and simulation modeling of the evaluation of the effectiveness of the methods and models, as well as the practical implementation of the results, confirmed the adequacy of the proposed methods and models of automated prediction of adverse aviation events in the flight based on the methods and models of in-depth training.

Realization of the developed method of forecasting unfavorable aviation events in flight on the basis of convolutional and recurrent neural networks allowed to automate the process of forecasting unfavorable aviation events.

The implementation of the advanced method for forming a training sample for training a deep hybrid neural network for forecasting adverse aviation events in flight allowed the use of the vector model of the training sample as the basis for studying the deep hybrid neural network for forecasting unfavorable aviation events.

Implementation of method for automated forecasting of adverse aviation events in flight in the subsystem of risk assessment for flight safety has allowed gain in accuracy and completeness of the classification of unfavorable aviation events on average up to 5%.

Keywords: risk assessment, forecasting, recognition, unfavorable aviation event in flight, aircraft, flight safety, model of in-depth training, neural network, training sample, formalization, text message.

Формат 60 x 84/16. Ум. Друк. Арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №717

Підписано до друку 20.08.2019 р.
Свідоцтво держ. Реєстру ДК №977 від 05.07.2003р.

Видавництво Льотна академія НАУ
М. Кропивницький,
Вул. Добровольського, 1,
Тел. 39-44-37.