

УДК 614.84

- С. В. Рудаков, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-8263-0476)*
О. В. Миргород, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-5989-3435)
О. А. Петухова, к.т.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-4832-1255)
О. В. Пирогов, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-0958-0801)
Е. Е. Щолоков, викл. (ORCID 0000-0002-9923-1487)
Р. В. Корнієнко, к.т.н., н.с. відділу (ORCID 0000-0003-4854-283X)
Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

РЕАЛІЗАЦІЯ БЕЗПЕКИ ПАСАЖИРІВ ПРИ ПОРУШЕННІ ГЕРМЕТИЧНОСТІ САЛОНУ ЛІТАКА У ВИСОТНИХ ПОЛЬОТАХ

Вдосконалений комплекс технічних засобів колективного оповіщення про величини граничного резервного часу збереження свідомості пасажирів при порушенні герметичності салону літака внаслідок виникнення надзвичайної ситуації під час висотного польоту. Досліджено статистичні дані щодо виникнення надзвичайних ситуацій на пасажирських літаках, які свідчать про необхідність розробки засобів реалізації безпеки пасажирів літаків цивільної авіації при виникненні нештатних ситуацій. Одним з таких є комплекс технічних засобів колективного оповіщення пасажирів про величини граничного резервного часу збереження свідомості при надзвичайних ситуаціях у висотних польотах. Вирішувалась проблема реалізації безпеки пасажирів повітряних суден шляхом виявлення та усунення деяких розбіжностей між можливостями оповіщення пасажирів та відсутністю системи технічних засобів, які дозволяють реалізувати таке оповіщення. Розглянуто математичний підхід до побудови інтегральних показників небезпеки надзвичайних ситуацій висотного польоту, який дозволив обґрунтувати необхідність розвитку технологій моніторингу обстановки в салоні літаку для своєчасного розпізнавання потенційно небезпечних ситуацій, обумовлених зниженням барометричного тиску. Вирішене наукове завдання дослідження, яке включає в себе розробку системи науково обґрунтованих технічних рішень оповіщення пасажирів повітряних суден при порушенні герметичності салону. Особливостями та відмінними рисами отриманих результатів, стала розробка алгоритму ризикометрії безпеки висотних польотів, що базуються на людському факторі з подальшим впровадженням у комплекс технічних засобів для реалізації безпечного середовища. Представлена оцінка безпеки пасажирів, розрахована в реальному часі спираючись на первинні показники, що доступні для реєстрації впродовж всього польоту (також, в умовах порушення герметичності салону). Практичне застосування отриманих результатів може використовуватися в авіаційній сфері в разі виникнення надзвичайної ситуації.

Ключові слова: резервний час, метод регресійного аналізу, комплекс засобів оповіщення пасажирів, гіпоксія

1. Вступ

До чинників, що впливають на виникнення авіаційних катастроф належать: технічні несправності, людський фактор, терористичні акти, несприятливі погодні умови, та інші причини. Основною причиною авіаційних катастроф є негативний вплив людського фактору, що становить 46 % випадків. Найчастіше помилки допускає капітан повітряного судна, також аварії можуть бути спричинені неправильними діями інших членів екіпажу. Окрім того важливим чинником, що діє на безпеку польотів, є несприятливі погодні умови. Стан засобів захисту екіпажу та пасажирів повітряних суден при виникненні порушення герметичності салону літака показав необхідність проведення наукових досліджень в напрямку реалізації безпеки пасажирів ПС під час висотного польоту стосовно забезпечення оповіщення про можливу небезпеку в режимі реального часу. Практичне застосування результатів досліджень, щодо розробленої системи науково обґрунтованих технічних рішень оповіщення пасажирів ПС в НС висотного польоту дозволять розробити

алгоритм ризикометрії безпеки висотних польотів за людським фактором з наступною реалізацією в комплексі технічних засобів реалізації безпеки пасажирів. Це дозволить підвищити рівень безпеки пасажирів при виникненні НС в польоті.

Отже, питання реалізації безпеки пасажирів ПС шляхом вдосконалення технічних засобів оповіщення при виникненні надзвичайної ситуації на борту літака є актуальною.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В роботах [1–3] проведений аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду реалізації безпеки висотних польотів, який свідчить про відсутності єдиних підходів до ризикометрії втрати свідомості членами екіпажу та пасажирями ПС при порушення герметичності салону і кабіни літака. Проте без рішення залишилися питання, що суміжні з контролем часу збереження свідомості пасажирями повітряного судна при порушення герметичності салону. Причиною цього можуть бути об'єктивні труднощі, пов'язані з недосконалим парком вимірювальних приладів, які забезпечують відповідний контроль. Спосіб вирішення наявної проблеми є інтеграція дієвих систем моніторингу за реалізацією безпеки польотів. Визначено, що головна причина авіаційних катастроф – вплив людського фактору (46 %). Переважно трагічну помилку допускає капітан літака [4], проте причиною аварії можуть бути хибні дії решти членів екіпажу. Також до цієї категорії належать і хибні дії персоналу наземних служб. Спосіб вирішення наявної проблеми може бути використання нових засобів оповіщення пасажирів про виникнення НС. Власне дана стратегія використана в роботах [5–6].

В роботах [7–8] запропонована система технічних засобів індивідуального оповіщення пасажирів при НС, яка вимагає застосування кисневих масок. Відомості про час застосування масок та кількість резервного часу збереження свідомості пасажирями літака відображається на авіаційних кріслах. Проте, проведена експертна оцінка ефективності використання засобів індивідуального оповіщення пасажирів не показала задовільного результату.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є розробка та впровадження засобів колективного оповіщення пасажирів. Отже проведений аналіз дозволяє стверджувати, що виправданим є проведення дослідження, в напрямку цієї проблеми.

3. Мета та завдання дослідження.

Метою роботи є підвищення безпеки пасажирів літаків при виникненні надзвичайної ситуацій під час висотного польоту шляхом використання системи технічних засобів оповіщення пасажирів.

Для реалізації представленої задачі необхідно вирішення таких завдань:

- аргументувати необхідність оповіщення пасажирів щодо настання надзвичайної ситуації в польоті;
- аргументувати та дослідити алгоритми розрахунку оцінок резервного часу збереження свідомості пасажирями повітряного судна при порушення герметичності салону;
- створити технічні засоби колективного оповіщення пасажирів повітряного судна щодо потенційної небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій під час висотного польоту.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є організація безпеки пасажирів повітряних суден (ПС) при порушенні герметичності салону.

Предметом дослідження є удосконалення методики оцінки професійних ризиків. Гіпотезою дослідження є конфлікти характеристик залежності мінімального, середнього та максимального резервного часу збереження свідомості при перебуванні людини на різній висоті.

Дослідження проведено базуючись на розробці моделі розрахунку оцінки резервного часу збереження свідомості пасажирими літака в разі виникнення надзвичайною ситуації під час висотного польоту.

Для аналізу даних були застосовані статистична обробка експериментальних даних, математичне моделювання, методи регресійного аналізу.

Застосовані методи ризикометрії безпеки висотних польотів в якості оцінки інтегральних показників безпеки життєдіяльності людини. В роботі використана узагальнена модель ефективності застосування технічних засобів колективного оповіщення пасажирів при виникненні НС, яка описана вербальними ознаками.

5. Математичний підхід до синтезу інтегральних показників небезпеки висотного польоту

Основними факторами зовнішнього середовища, які впливають на людину в висотному польоті: знижений парціальний тиск кисню, перепади атмосферного тиску, сонячна радіація, низька температура повітря,.

Крім вище перелічених факторів зовнішньої середовища пілоти і пасажирів, безумовно, піддаються ще впливу таких перевантажень, як вібрації, шумів, прискорення, відносної ізоляція від зовнішнього світу, але саме зниження парціального тиску і, як наслідок, поява стану гіпоксії є одним із найбільш значущих факторів ризику загибелі людей при появі НС під час висотного польоту.

В якості інтегральних показників безпеки життєдіяльності людини в умовах гіпоксії, які характеризують ризики для життя і здоров'я людини в екстремальних умовах, пов'язаних з зниженим змістом кисню в повітряному середовищі використовують величини резервного часу збереження свідомості, резервного часу збереження працездатності, ймовірності відповідних подій (збереження свідомості і збереження працездатності), а також ймовірності протилежних подій (втрати працездатності та втрати свідомості). З математичної точки зору ці величини є взаємопов'язаними, а методи їх розрахунку можливо розділити на наступні класи:

- за величиною вмісту кисню в трахеальному повітрі. Цей підхід дозволяє отримати адекватні оцінки інтегральних показників безпеки у висотному польоті, проте пряма реєстрація змісту кисню в повітрі технічно складна, а численні залежності величини цього показника від висоти польоту не дозволяють адекватно оцінити реальну обстановку в салоні літака в режимі розвитку НС;

- на підставі математичних моделей газообміну. Недоліком цього підходу є велика обчислювальна складність (кількість її елементів становить кілька сотень тисяч) і велика кількість припущень і ідеалізацій;

- за величиною барометричного тиску в салоні з наступним перерахунком в величину змісту кисню в повітряному середовищі на основі принципу еквівалентних висот Цей підхід технічно просто реалізується (датчики барометричного тиску в навколишньому повітрі компактні та не дорогі) та при частому зйомі показань з датчиків дозволяє реалізувати моніторинг потенційною небезпеки виникнення НС в висотному польоті в режимі реального часу.

В інтересах реалізації оповіщення пасажирів ПС про можливу небезпеку навколишньої ситуації доцільно використовувати величини резервного часу збереження свідомості, оскільки величини барометричного тиску, змісту кисню в навколишньому повітрі є малоінформативними для більшості пасажирів.

Оцінки ризику (ймовірності) втрати працездатності можуть викликати напади паніки у деяких «вразливих» пасажирів, які не зможуть адекватно оцінити ці величини в разі появи НС.

Внаслідок цього для вирішення завдань дослідження доцільно розраховувати оцінки резервного часу збереження свідомості під час висотного польоту за величиною барометричного тиску в салоні ПС. Рівень науково-технічного прогресу дозволяє реалізувати ризикометрію безпеки висотних польотів з врахуванням оцінки резервного часу збереження свідомості пасажирами ПС в реальному часі у разі розвитку НС під час висотного польоту на підставі безперервного (з заданою частотою дискретизації) визначення величини барометричного тиску в салоні літака.

Безпека пасажирів й екіпажу в умовах гіпоксії реалізується шляхом встановлення кисневого обладнання. Кисневе обладнання на борту ПС призначене виконувати наступні функції [9]:

– живлення киснем членів екіпажу, пасажирів ПС при аварійній порушенні герметичності кабіни та салону;

– захист органів дихання членів екіпажу та бортпроводників від диму і токсичних газів, виділених при горінні матеріалів обладнання на літаку.

Проведений аналіз дозволив виділити наступні вимоги, які висуваються до кисневого обладнання:

1. Повна автоматизація всіх процесів подачі кисню.

2. У зв'язку з великою окислювальною здатністю всі деталі кисневих приладів повинні виготовлятися з матеріалів: корозійно-стійкої сталі, латуні, пластмас і прогумованою тканини.

3. Киснева система і її агрегати повинні бути працездатні при впливі вібрації, механічних ударів, зміні тиску повітря, температури, вологості і т.і.

4. Стаціонарні джерела кисню повинні мати пристрої для аварійного скидання кисню за борт в випадку небезпечного підвищення тиску в них.

5. Киснева система і агрегати, що входять до неї, повинні мати мінімально можливі габаритні та масу.

Засоби захисту, що призначені на випадок порушення герметичності салону або кабіни, не дозволяють пасажирам й екіпажу використовувати інформацію про кількість резервного часу збереження свідомості, що спричиняє паніку та надмірну нервозність при утворенні НС .

Отже, для побудови системи технічних засобів оповіщення пасажирів ПС у НС під час висотних польотів необхідно оцінити безпеку пасажирів, розраховану в реальному часі на основі базових показників, відкритих для реєстрації впродовж всього польоту (у тому числі, в умовах НС).

Завдання синтезу інтегральних показників безпеки висотних польотів зводиться до знаходження математичного виразу, який описує залежність залежною змінної u (інтегральний показник безпеки) від незалежних змінних x_i (показники, що характеризують безпеку та доступні для реєстрації протягом всього польоту).

Незалежні змінні об'єднані в вектор

$$X = \{x_i, i = 1..m\} \quad (1)$$

з розмірністю m , що дорівнює числу показників. Таке завдання найчастіше, і, як показує практика, ефективно вирішується методами регресійного аналізу

Розв'язання задачі регресійного аналізу передбачає перебування функціональною залежності

$$y = f(X) + \varepsilon, \varepsilon \rightarrow \min, \quad (2)$$

де ε – похибка, яку потрібно звести до мінімуму (зазвичай, ця похибка охарактеризована сумою квадратів регресійних залишків-різниць між наведеними в наборі даних і розрахованим значенням залежної змінної для заданих в вибірці значень незалежних змінних) [10].

За результатами регресійного аналізу визначається структура (вигляд: лінійна, експонентна, логарифмічна і тощо) та параметри (коефіцієнти рівняння, що забезпечують мінімальну величину помилки ε для моделі конкретної структури).

У зв'язку з тим, що для вирішення завдання досліджень не потрібно скорочення розмірності ознакового простору для синтезу залежності доцільно застосувати метод найменших квадратів (МНК).

МНК належить до класу підходів, у яких під час вирішення завдань відновлення залежності не вводиться припущень про випадковість шуканого вектора x та помилок вимірювань, і, отже, відсутня необхідність в залученні який-небудь додатковою інформації статистичного характеру [13].

Відмінна особливість МНК полягає в тому, що завдання синтезу алгоритму обчислення оцінки невідомого вектора x по вимірам y , заснована у виборі таких її значень, які забезпечують мінімізацію критерію, що характеризує міру близькості між вимірними і обчисленими значеннями залежної змінної.

Як простий, але ефективний варіант такого критерію в МНК використовується функція

$$Q(X) = (y - s(x))^T (y - s(x)) = \sum_{i=1}^m (y_i - s_i(x))^2. \quad (3)$$

Сумовані різниці називають нев'язками вимірювань, а підхід, заснований на мінімізації такого критерію називають МНК. Записаний критерій має цілком зрозумілий сенс – знайти вектор параметрів, при якому мінімізується сума нев'язок. Результати досліджень, отриманих в фізіології, свідчать про тому, що залежність інтегрального показника безпеки y від незалежних змінних x_i (показників, які характеризують безпеку пасажирів ПС і доступних для реєстрації протягом усього польоту) слід шукати у класі нелінійних функцій [10]. Слід відзначити, що поставлена задача відновлення залежності є одновимірною, тому етап структурної ідентифікації доцільно здійснювати по аналізу графіка «незалежна – залежна змінна». Доцільно визначити кілька структур залежностей та провести етапи параметричною адаптації. Параметрична адаптація залежності заданою структури здійснюється за відомими алгоритмів, заснованим на МНК.

Показниками якості суттєвості та адекватності отриманої залежності, що визначаються після параметричної адаптації, є [10]:

1. Значення квадрата коефіцієнта множинної кореляції (коефіцієнт детермінації):

$$R^2 = \frac{1 - \sum (y_i - y_i^*)^2}{\sum (y_i^* - \bar{y}_i)^2 + \sum (y_i - y_i^*)^2}, \quad (4)$$

де y_i^* – значення залежної змінної y , отримане за регресійною моделлю; y_i – значення залежної змінної y , задане апріорно (вихідні дані); \bar{y}_i – середнє арифметичне залежної змінної y_i

Оцінка коефіцієнта детермінації (R^2) – це по суті частка дисперсії залежною змінною y , пояснювана аналізованою моделлю залежності $y = f(X)$, то є незалежними (що пояснюють) змінними x_i . Для лінійної регресії R^2 є квадратом множини коефіцієнта кореляції між залежною змінною y і незалежними змінними x .

2. Наведена незміщена оцінка коефіцієнта детермінації:

$$R_{SR}^2 = \frac{(N-1) \times \sum (y_i - y_i^*)^2}{(N-n-1) \times \sum (y_i^* - \bar{y}_i)^2 + \sum (y_i - y_i^*)^2}, \quad (5)$$

де n – число незалежних змінних; N – число спостережень.

3. Стандартна помилка обчислень залежною змінною y :

$$\Delta_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_i^*)^2}{N-n-1}}. \quad (6)$$

4. Значення статистики Фішера та рівень значущості для нульової гіпотези про рівності нулю коефіцієнта множинної кореляції.

5. Гістограма нормованих залишків-інформативна для перевірки гіпотези про наявність надмірних похибок, в випадку їх відсутності крапки гістограми розосереджені поступово.

6. Залежність регресійних залишків від експериментальних значень незалежною змінною – наявність тренду на графіку свідчить про те, що модель можна покращити, а наявність випадкового розкиду свідчить проти можливості покращення.

7. Графік нормованих залишків в залежності від номера об'єкта вибірки – служить для виявлення тренду, залежить від часу, і не враховується регресійною моделлю.

8. Критерій Дарбіна-Уотсона дозволяє перевірити припущення щодо незалежності послідовності помилок спостережень за значеннями статистики Дарбіна-Уотсона (DWS):

$$DWS = \frac{\sum_{i=2}^N (|y_i^* - y_i| - |y_{i-1}^* - y_{i-1}|)^2}{\sum_{i=1}^N (|y_i^* - y_i|)^2} \quad (7)$$

і наступному порівнянні обчисленого значення з табличним.

Показники 6-8 дозволяють перевірити гіпотези про лінійності, однорідності та незалежності помилок. Якщо вказані вимоги виконуються, то на графіку регресійної моделі не спостерігатиметься залежності між залишковими і регресійними значеннями, тобто, залежність буде представляти собою симетричне рівномірне розподілення. Також необхідно перевірити відповідність залишків нормальному закону розподілення.

Відомо, що для коректного рішення завдань відновлення залежності необхідно використовувати репрезентативні вибірки. Властивість репрезентативності вибірки означає рівномірність включення в неї об'єктів різних типів (на всьому діапазоні зміни незалежною і залежною змінних).

При вирішенні завдань відновлення залежностей, визначають показники якості одержаної залежності. Причому коректнішим (об'єктивним) є розбиття вихідний вибірки на навчальну і контрольну (екзаменаційну): відновлення залежностей проводити на навчальній вибірці, а визначення показників якості синтезованих залежностей проводити на прикладах (випадках), які увійшли в контрольну (екзаменаційну) вибірку.

Для підвищення репрезентативності вибірки при вирішенні задачі відновлення залежності використовуємо наступний алгоритм:

1. Вибірка апріорно заданому співвідношенні (зазвичай 60/40), випадковим чином поділяється на навчальну і контрольну.

2. Побудовані залежності тестуються на контрольній вибірці: якщо помилки, допустимі декількома моделями, відбуваються на одних і тих ж прикладах, то здійснюється перехід до наступного кроку алгоритму, в протилежному випадку – робота алгоритму завершується.

3. Об'єкти контрольної вибірки, на яких допускається велика кількість помилок, переносяться в навчальну вибірку, а з навчальною вибірки в контрольну переноситься така ж кількість випадково обраних об'єктів.

Кроки 2 і 3 виконують до тих пір, поки при тестуванні побудованих регресій не будуть виключені помилки на тих самих приклади.

Дивлячись на те що наведений алгоритм не має точного теоретичного обґрунтування, отриманий досвід його застосування свідчить про збільшення частки правильних рішень на контрольних вибірках на 5–15 % їх загальної кількості, що узгоджується з поставленою задачею.

6. Оцінка резервного часу збереження свідомості пасажирями при виникненні надзвичайною ситуації

Мінімальні і максимальні величини резервного часу збереження свідомості неадаптованих до гіпоксії осіб (якими є пасажирі ПС) при знаходженні їх на критичних висотах визначено, починаючи з висоти 7000 м і вище, при диханні навколишнім повітрям, а також на висотах понад 13 500 – 14000 м при диханні чистим киснем [11]. На менших висотах зберігаються потенційні можливості організму по реалізації мінімально необхідної кількості кисню з легень до життєво важливим органам, а ступінь зниження парціального тиску кисню в тканинах не досягає критичних величин, несумісних з життям [11].

Парціальне тиск кисню в трахеї пов'язаний з барометричним тиском залежністю [11]:

$$p^0 = F(P_h - P_{H_2O}), \quad (8)$$

де F – концентрація кисню в атмосфері ($F=0,2093$), P_h – барометричний тиск на висоті h .

У реальних умовах параметри атмосфери схильні до помітного відхиленням від середніх значень (сезонним, добовим, метеорологічним і ін). Для реалізації порівнянності результатів, отриманих в різних конкретних ситуаціях, в Україні та за кордоном використовується стандартна атмосфера. Як константа в неї прийняті (крім уже згаданих): $T_0 = 288 \text{ K}$ ($t_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$); $p_0 = 101\,325 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.); $h_{0\text{ст}} = 11000 \text{ м}$; $T_{0\text{ст}} = 216,5 \text{ K}$ ($t_{0\text{ст}} = -56,5 \text{ }^\circ\text{C}$); $p_{0\text{ст}} = 22\,690 \text{ Па}$ (170 мм рт. ст.).

У висотній фізіології отримані емпіричні дані, визначальні мінімальні, середні та максимальні резервні часи збереження свідомості при перебування людини на різних висотах (різному барометричному тиску), усереднені значення яких відображені на рис. 1.

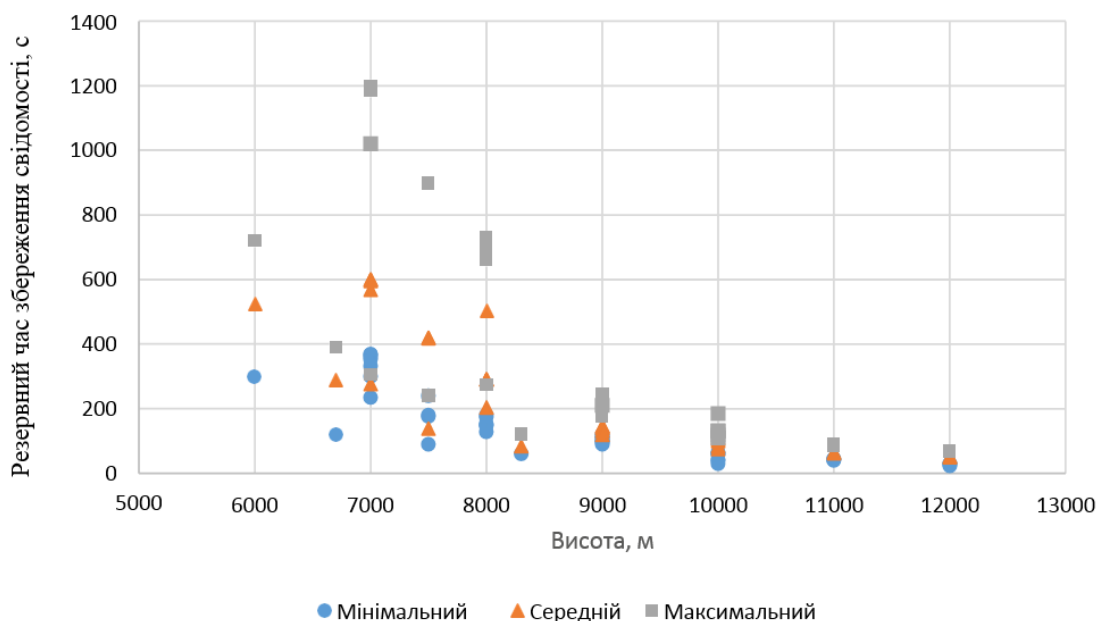


Рис. 1. Значення мінімального, середнього та максимального резервного часу збереження свідомості людини для різних висот

Аналіз залежності мінімального, середнього і максимального часу збереження свідомості від висоти (рис.1) дозволяє зробити висновок про те, що структура залежності резервного часу збереження свідомості від висоти має вигляд поліноміальної, експонентної залежності або зворотньої функції ($Y = 1/x$).

Параметричну адаптацію для кожною структури залежності та розрахунок показників суттєвості та адекватності кожною отриманою залежності проводили у пакеті програм статистичного аналізу Statistika ver. 10.0.

Результати параметричною адаптації (отримані оцінки коефіцієнта детермінації моделей) представлені на рис. 2.

Аналіз результатів показує, що найбільш істотна (з максимальним коефіцієнтом детермінації, рівним 0,84) залежність резервного часу збереження свідомос-

ті (Т) від висоти польоту знайдено в класі статечних функцій (рис. 3):

$$T = 7 \times 10^{-21} p^{4,8429} - 11. \quad (8)$$

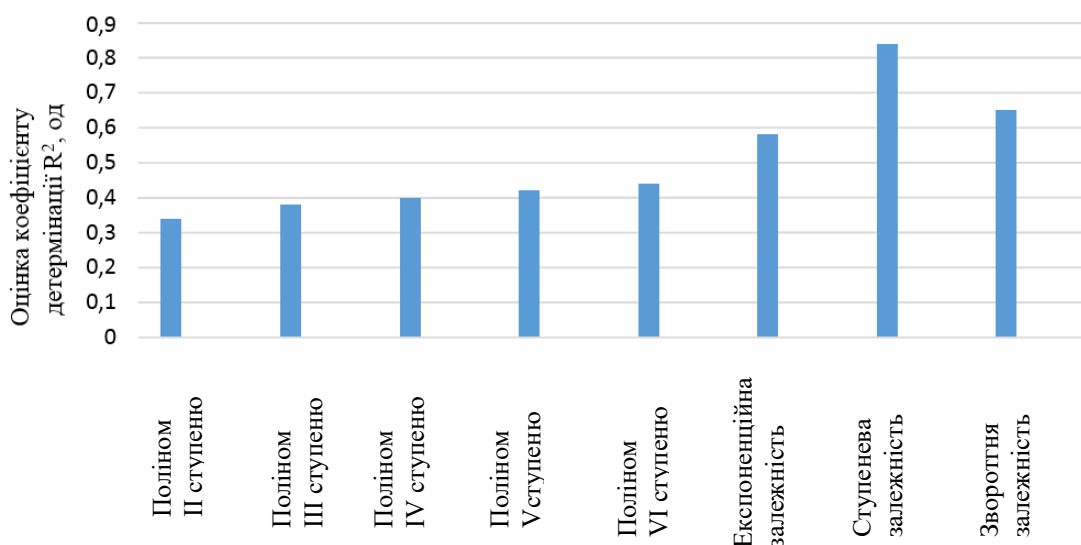


Рис. 2. Оцінки коефіцієнтів детермінації моделей

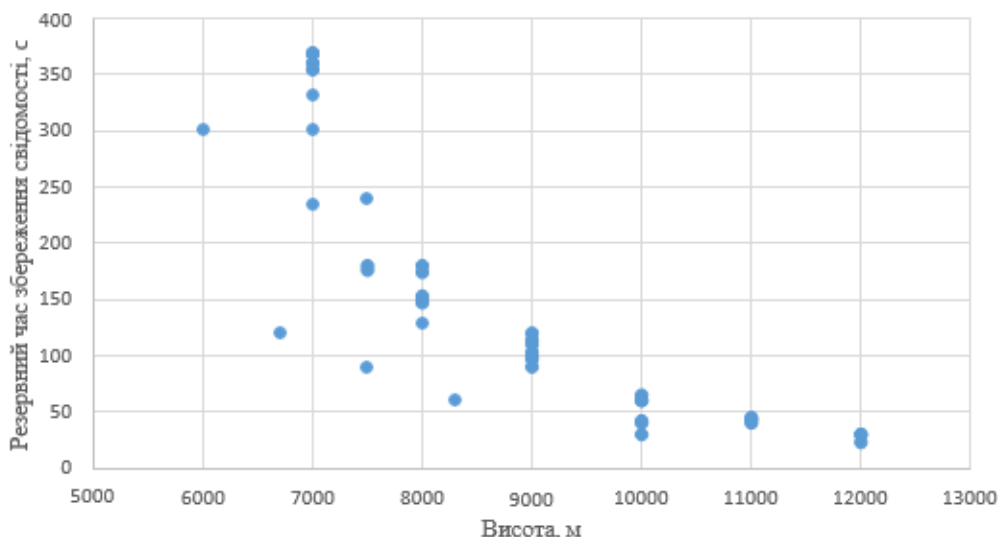


Рис. 3. Залежність резервного часу збереження свідомості від висоти

Результати показників якості отриманої залежності свідчать про її адекватність: значення квадрата коефіцієнта множинної кореляції $R^2=0,84$; наведена незміщена оцінка коефіцієнта детермінації $R^2=0,79$; стандартна помилка обчислень залежної змінної y : 34 с; нульова гіпотеза про рівності нулю коефіцієнт амножинної кореляції відкидається ($p > 0,05$); аналіз гістограми нормованих залишків свідчить про рівномірності розподілу точок, тобто про відсутності надмірних похибок; аналіз залежності регресійних залишків від експериментальних значень незалежною змінною показує відсутність тренда на графіку; аналіз графіка нормованих залишків залежно від номера об'єкта свідчить про відсутності тренда, залежить від часу, і не врахованого моделлю; величина критерію Дарбіна-Уотсона $DWS = 2,4$ свідчить про незалежності послідовності помилок спостережень (відсутність автокореляції).

Таким чином, для рішення завдання визначення залежності величини резер-

вного часу збереження свідомості від висоти польоту ПС обраний один з методів регресійного аналізу – МНК. За допомогою емпіричних даних, та МНК була синтезована статична функція T , яка дозволяє розрахувати оцінки резервного часу збереження свідомості пасажирів ПС в залежності від висоти польоту з якістю, достатньою для оповіщення пасажирів ПС про небезпеки НС висотного польоту.

7. Розробка засобів оповіщення про величину граничного резервного часу збереження свідомості

Система призначена для оповіщення пасажирів і екіпажу ПС про величину граничного резервного часу збереження свідомості в випадку порушення герметичності салону.

Засоби колективного оповіщення – засоби, що надають своєчасну інформацію для пасажирів, котрі перебувають в літаку.

В умовах порушення герметичності салону автоматично або примусово із контейнерів над сидіннями пасажирів випадають кисневі маски (КМ), які підключені до системи кисневого живлення. Пасажир повинен підтягнути та надіти КМ. При цьому пасажиру не відомо, яке газове середовище знаходиться навколо, що значно зменшує шанси на дійсну оцінку небезпеки життю і спричиняє надмірну нервозність і паніку. Схожі випадки відбуваються в інших ситуаціях, що виникають при перебуванні людини в умовах гіпоксії.

Для реалізації безпеки людини в небезпечних (нештатних) ситуаціях, пов'язаних з впливом гіпоксії, наприклад, при відмові кисневого обладнання, порушенні герметичності салону (кабіни), пропонується використовувати індикатор резервного часу збереження свідомості. Загальний вигляд індикатора резервного часу представлений на рис. 4 [12].

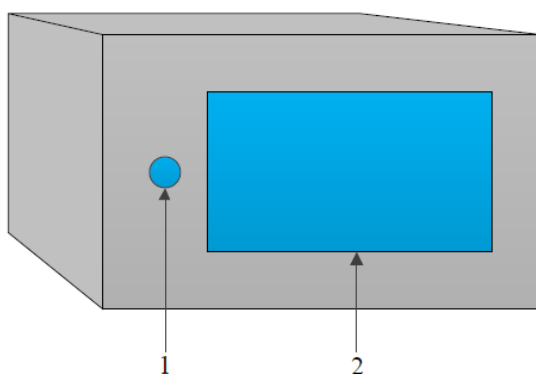


Рис. 4. Загальний вигляд індикатора резервного часу

Пропонований індикатор має корпус, в який інтегровано датчик барометричного тиску (1) та екран (2) для відображення резервного часу збереження свідомості людини. Датчик барометричного тиску індикатора під'єднано до банку даних (4), що підключений до обчислювача (5), котрий приєднаний до компаратора (6), який з'єднаний з екраном (2) і з блоком бездротового інтерфейсу (7) за допомогою шини (8) (рис.5).

Функціонування індикатора резервного часу збереження свідомості людиною в умовах гіпоксії полягає в наступному:

1. Індикатор кріпиться і розміщується так, щоб інформацію яку він відображає бачили якнайбільша кількість людей, окрім того датчик барометричного тиску навколишнього газового середовища необхідно закріпити так щоб інші пред-

мети не могли викривляти вимірювані дані барометричного тиску.

2. При активації індикатора відбувається реєстрація показників з датчика барометричного тиску з частотою 1 Гц (1 раз на секунду), в той же час акумулятор автоматично заряджається від мережі електроживлення через роз'єм сполучення, а складові індикатора запитані через загальну шину електроживлення.

3. Значення барометричного тиску в навколишньому середовищі з датчика по інформаційно-керівній шині надходять:

– в накопичувач інформації, який представляє з себе зсувний реєстр із 300 осередків. Тобто в накопичувачі одночасно може зберігатися не більше 300 вимірювань барометричного тиску (що відповідає вимірюванням кожної секунду впродовж 5 хвилин) – 301 вимірювання записується замість першого, 302 вимірювання – замість другого і так далі;

– модуль бездротового інтерфейсу для передачі на робоче місце екіпажу і на робоче місце фахівців наземних служб.

4. В обчислювачі відбувається динамічний розрахунок оцінки резервного часу збереження свідомості людини T , с, за формулою (9).

5. Розрахована оцінка резервного часу збереження свідомості надходить в компаратор, де вона зіставляється з періодом в 300 с. У випадку, коли кількість резервного часу збереження свідомості менше 300 с, посилається сигнал на активацію екрану. У екрані індикатора відображається оцінка резервного часу збереження свідомості людини, котра визначається в реальному часі з періодичністю, що дорівнює частоті вимірювання барометричного тиску в навколишньому середовищі (1 Гц).

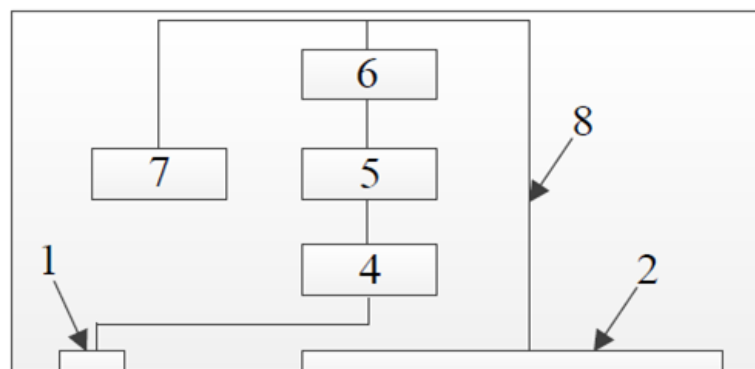


Рис. 5. Структурна схема індикатора резервного часу

З такою ж періодичністю розрахована оцінка резервного часу збереження свідомості людини передається в модуль бездротового інтерфейсу для передачі на робоче місце екіпажу та на робоче місце спеціалістів наземних диспетчерських служб. Якщо при увімкненому екрані індикатора розрахована оцінка резервного часу збереження свідомості стає більшою або рівною 300 с, видається сигнал на вимкнення екрану індикатора. Як варіант, для більш раціонального використання індикатора в випадку резервного часу більше 300 с. можливо виводити на екран астрономічний час або поточну висоту польоту.

Для вирішення питання використання в індикаторі резервного часу збереження свідомості проаналізовано можливість застосування наступних датчиків барометричного тиску:

- CAREL SPKT0031D0. Інтервал тиску, що вимірюється – 0...3 МПа; габаритні розміри – діаметр – 21 мм, довжина – 51 мм, напруга живлення – 10...36 В; робоча температура –25 °С...80 °С; похибка вимірювань – 4 %; матеріал виготов-

лення – сталь [14];

ДІР-23. Інтервал тиску, що вимірюється – $-0,1...2,4$ МПа; габаритні розміри – діаметр -30 мм; довжина – 101 мм, напруга живлення – $8...8$ В; робоча температура -40 °С... 100 °С; похибка вимірювань – $0,5\%$; матеріал виготовлення – сталь [15].

Як накопичувачі інформації проаналізовано можливість використання наступних мікросхем:

M25P16-VMN6TP. Об'єм пам'яті – 16 Мбіт; тактова частота – 75 МГц; напруга живлення – $2,7...3,6$ В; робочий температурний діапазон – 40 °С... 85 °С; вага – $0,2$ г [16];

23K256-I/SN. Об'єм пам'яті – 256 Кбіт; тактова частота – 20 МГц; напруга живлення – $2,7...3,6$ В; робочий температурний діапазон -40 °С ... 85 °С; вага – $0,15$ г [14].

Для застосування в якості компаратора використані:

- LM193DR. Кількість каналів – 2 ; час затримки – 1300 мс; напруга живлення: $2...3,6$ В; робочий температурний діапазон – 55 °С... 125 °С; вага – $0,15$ г [15];

- LM2903DR. Кількість каналів – 2 ; час затримки – 300 мс; напруга живлення – $3,6$ В; робочий температурний діапазон -40 °С... 125 °С; вага – $0,15$ г [15].

Щодо до використанню в якості обчислювача (мікропроцесора) досліджено характеристики:

ADM707ANZ. Порогова напруга – $4,65$ В, робочий температурний діапазон – 40 °С... 85 °С; вага – 1 г [16];

MAX813LESA+. Порогова напруга $-4,65$ В, робочий температурний діапазон -40 С... 85 °С; вага – $0,15$ г [16].

Величина резервного часу збереження свідомості буде відображатися на моніторі (цифровому табло) і з допомогою багаторежимного світлодіоду. Тому вибираючи модель перерахованих компонентів потрібно виходити з того, наскільки буде зручно пасажиру в умовах надзвичайної ситуації сприймати інформацію про величину резервного часу. У цьому аспекті проаналізовано наступні варіанти:

- інформаційне табло GHM MIGAN. Фронтальні розміри – 571×2047 мм; напруга живлення – 24 В; висота червоних світлодіодних сегментів – до 150 мм; робочий температурний діапазон – 0 °С ... 50 °С ; клас захисту – IP65 [17];

- індикатор CA56-12SRWA. Фронтальні розміри – 50×19 мм; робітник температурний діапазон – -40 °С... 85 °С; висота червоних світлодіодних сегментів – $14,2$ мм; напруга живлення – до 6 В; вага – $8,5$ г [17];

- монітор NL6448BC20-21D. Діагональ – 17 см; Розширення – 640×480 ; живлення – $3,3$ В; робочий температурний діапазон – -20 °С... 70 °С [17].

Корпус індикатора резервного часу має бути виконаний в захищеному виконанні: бути абсолютно захищений від проникнення мікрочастинок і пилу, а за ступенем стійкості та проникненню рідини він повинен бути мінімум захищений від струменів води під низьким тиском в продовж 3 хв. Корпус індикатора та елементна база виконуються з новітніх та надійних матеріалів, котрі дозволять забезпечити мінімальні масові та габаритні показники і потрібну міцність для підтримання робочих функцій в умовах перевантажень при перельотах.

Параметри екрану цифрового індикатора визначалися залежно від розміщення в салоні ПС, показання цифрового індикатора повинні бачити всі пасажирі.

Місткість акумулятора повинна забезпечувати функціонування індикатора впродовж восьми годин після відключення від мережі електроживлення.

Відповідно до викладених вимог запропонований макетний зразок індикатора (рис.6).



Рис. 6. Макетний зразок індикатора резервного часу

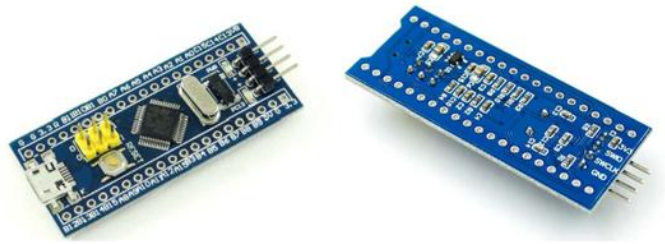


Рис. 7. Налагоджувальна плата, використана для побудови індикатора резервного часу збереження свідомості людини

Під час виготовлення макетного зразка індикатора використана налагоджувальна плата чіп CKS STM32 CKS32F103C8T6, на якій скомпоновані складові частини індикатора (рис. 7).

Дослідження варіантів розташування індикатора резервного часу збереження свідомості людини, зконструйованого відповідно до представленої типової схеми в різних форматах та компоновках, дозволяє визначити безліч можливих проблем.

Зокрема, розташування індикатора під світловим покажчиком «Вихід». Позитивною стороною такого розміщення є можливість живлення індикатора від дроту, який приєднаний до світлового покажчика, а також доступність для погляду. Наприклад, літак моделі Боїнг 737-400 має салон висотою 220 см, монітор NL6448BC20-21D має ширину – 11,8 см. Таким чином, індикатор резервного часу робиться виїжджаючим зі стельового простору салону з метою того, щоб за відсутності порушення герметичності салону, індикатор не зменшував простір від підлоги до стелі. Одним із можливих недоліків може бути погана видимість для пасажирів задніх рядів. Для усунення цього нестачі і для пасажирів, які мають проблеми із зором, можливо в блок індикації вбудувати динамік, через який буде доводитися інформація про значення резервного часу збереження свідомості. З 2002 р. заборонено куріння на всіх рейсах, тому, як варіант, можливо запропонувати вбудувати індикатор резервного часу замість індикації про заборону куріння. У будь-якому випадку навіть встановлення індикації через 1–2 ряди дозволить якісніше сповіщати про резервний час збереження свідомості. У кабіні екіпажу літака можливо розміщення індикатора (рис. 8). Індикатор резервного часу збереження свідомості показаний в стаціонарному варіанті. Крім того, необхідно передбачити можливість установки перемикача вибору значень резервного часу між кабіною екіпажу або салоном літака, в цілях того, щоб екіпаж мав більше повну інформацію щодо виникнення НС.

Місце розташування індикатора резервного часу збереження свідомості для колективного оповіщення пасажирів в салоні ПС обумовлене габаритами літака та видимістю для пасажирів чи екіпажу.

8. Обговорення результатів використання технічних засобів колективного оповіщення при виникненні надзвичайних ситуацій

Представлені результати пояснюються вдосконаленням технічних засобів колективного оповіщення пасажирів літака щодо потенційної небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій висотного польоту. Реалізація технічних засобів колектив-

ного оповіщення пасажирів повітряних суден у надзвичайних ситуаціях під час висотного польоту відбувається за рахунок монтажу в салоні повітряного судна інформаційних екранів з вбудованими звуковими чи цифровими індикаторами небезпеки, що базуються на величині резервного часу збереження свідомості пасажирів повітряного судна, та розраховується в реальному часу за величиною барометричного тиску в салоні літака. Особливими рисами запропонованого методу є визначення залежності величини резервного часу збереження свідомості від висоти польоту ПС за допомогою методу регресійного аналізу – методу найменших квадратів, особливістю якого полягає в тому, що завдання синтезу алгоритму обчислення оцінки значень часу забезпечує мінімізацію критерію, який характеризує міру близькості між вимірними і обчисленими значеннями залежною змінною.



Рис. 8. Варіант розміщення індикатора резервного часу збереження свідомості людини в кабіні екіпажу літака Boeing 737

Недоліком даного дослідження є відсутність можливості проведення натурних випробувань, які б могли підтвердити результати математичних розрахунків.

Ключовими векторами вдосконалення комплексу технічних засобів оповіщення пасажирів літаків в надзвичайних ситуаціях під час висотного польоту є реалізація проведення реєстрації персональних характеристик організму пасажирів (тренуваність до переносимості кисневого голодування, наявність хронічних захворювань антропометричні дані,) з метою вдосконалення планування та проведення рятувальних заходів.

Наступним можливим напрямком розвитку комплексу є застосування більш досконалого математичного апарату для розрахунку резервного часу збереження свідомості та використання більш сучасної елементної бази реалізації відповідних пристроїв.

9. Висновки

1. Проведений аналіз методів дозволив аргументувати застосування в якості базового математичного підходу до синтезу інтегральних показників небезпеки порушення герметичності салону літака в умовах висотного польоту метод регресійного аналізу. Модель розрахунку оцінки резервного часу збереження свідомості пасажирів повітряного судна при порушенні герметичності салону, що отримана в результаті нелінійного регресійного аналізу, дозволила провести розрахунок оцінки резервного часу з якістю, що задовольняє потреби безпеки пасажирів літака.

2. Розроблений алгоритм ризикометрії безпеки висотних польотів за людським фактором є методичною основою для застосування комплексу технічних засобів реалізації безпеки при виникненні надзвичайної ситуації під час висотних польотів.

3. Комплекс технічних засобів колективного оповіщення про величини граничного резервного часу збереження свідомості при порушенні герметичності салону літака в умовах польотів дозволяє провести у реальному часі оцінку величини резервного часу збереження свідомості пасажирів повітряного судна з відображенням інформації на табло колективного користування, встановлених в салоні, у цифровому вигляді або за допомогою кольорового кодування.

Література

1. Bugayko D., Shevchenko O. Indicators of air transport sustainable development. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*. 2020. № 4. P. 6–18.

2. Analysis on water content of product gas in onboard oxygen generation system (OBOGS) / Dongsheng J. and oth. *International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS): conference paper. IEEE*. 2016. P. 340–345. doi: 10.1109 /AUS.2016.7748071

3. Balbi G., Moraglio M. Proposal to hybridise communication and mobility research agendas. In: S. Fari, M. Moraglio, eds. *Peripheral flows: A Historical Perspective on Mobilities between Cores and Fringes*. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing. 2016. P. 10–27.

4. Safety Management Manual Doc 9859 URL: <https://www.unitingaviation.com/publications/9859/>

5. Groenenboom, J. Aircraft health monitoring. *The True Value of Aircraft Health Monitoring and Data Management. Proceedings of the 13th Maintenance Cost Conference*. Panama, September 13–15. 2017. P. 172 – 179.

6. Global Market Forecast. *Future Journeys 2013 – 2020 AIRBUS S.A.S Blagnac Cedex: Art @ Caractere*, 2013. 125 p. URL: <http://www.airbus.com/company/market/forecast/?eID=damfrontend+push@docID=33755>

7. Рудаков С.В., Петухова О.А., Миргород О.В., Кулаков О.В. Ефективність технічних засобів інформування пасажирів повітряних суден при надзвичайних ситуаціях. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Х.: НУЦЗУ. 2022. Т.2 (36). С. 133–146. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/17071>

8. Adrian T., Crump R.K., Vogt E. Nonlinearity and flight-to-safety in the risk-return trade-off for stocks and bonds. *The Journal of Finance*. 2019. Vol. 74. № 4. P. 1931–1973

9. Executive Agreements Database, Statement Regarding the Supplement with The Denmark and Norway Under The Memorandum of Understanding Concerning the Cooperative Framework For System Development and Demonstration of the Joint Strike Fighter, with Annexes Signed At Washington May 28 and June 20, 2022 Entered Into Force June 20, 2022. doi: 10.7910/dvn/dpheue

10. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (France) / *International Handbook on Forest Fire Protection Technical guide for the countries of the Mediterranean basin*, 2020. 149 p.

11. L. Fedrizzi, S. Rossi, R. Cristel, P.L. Borona / Corrosion and behavior of HVOF cermet coating used to replace hard chromium. *Electrochim. Acta* 2020.49. P. 2803–2814.

12. Analysis on water content of product gas in onboard oxygen generation system (OBOGS) / Dongsheng J. and oth. *International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS) : conference paper. IEEE*. 2016. P. 340–345. doi: 10.1109 / AUS.2016.7748071

13. Зарубін А. М. Висотне обладнання літальних апаратів: навч. посібник. Харків: ХНУПС, 2015. 112 с.

14. *Military Unmanned Systems. Annual Handbook*. ISSUE 26. April 2018.

Shephard. 368 p.

15. NWCG (National Wildfire Coordinating Group) / Standards for Aerial Supervision, February, 2020. 120 p.

16. F. Zakharin, S. Ponomarenko. Unmanned Aerial Vehicle Integrated Navigation Complex with Adaptive Tuning / Proceedings of IEEE 4-th International Conference, Kyiv. 2017. P. 23–26.

17. Grishmanov E., A. Mogilatenko Yu Danilov. Development of information technology for automated forecasting of adverse aviation events in flight. Control, navigation and communication systems. Collection of scientific papers 1. 2019. № 53. P. 36–40. doi: 10.26906/sunz.2019.1.036

S. Rudakov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

O. Myrgorod, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

O. Petukhova, PhD, Associate Professor, Deputy Head of Department,

O. Pirohov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

E. Shcholokov, Lecturer of the Department

R. Korniienko, PhD, Senior Researcher, Researcher of the Department

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

ENSURING THE SAFETY OF PASSENGERS DURING THE DEPRESSURIZATION OF THE AIRCRAFT CABIN IN HIGH-ALTITUDE FLIGHTS

The work includes an improved complex of technical means of collective informing about the values of the maximum reserve time of consciousness preservation in emergency situations (ES) of high-altitude flights. Statistical data on the occurrence of emergency situations (ES) on passenger aircraft were studied, which indicate the need to develop means of ensuring the safety of passengers of civil aviation aircraft in the event of emergency situations. One such complex is a complex of technical means of collectively informing passengers about the values of the maximum reserve time of maintaining consciousness in emergency situations in high-altitude flights. The object of the study is the organization of the safety of aircraft passengers in the event of an emergency. The article addressed the problem of ensuring the safety of aircraft passengers by identifying and eliminating some discrepancies between the possibilities of informing passengers and the lack of a set of technical means that allow such information to be implemented. To eliminate such discrepancies, a mathematical approach to the synthesis of integral indicators of the danger of high-altitude flight emergencies was considered, which made it possible to substantiate the need for the development of technologies for monitoring the situation in the aircraft cabin for the timely recognition of potentially dangerous situations caused by a decrease in barometric pressure. The work solves the scientific task of the research, which includes the development of a set of scientifically based technical solutions for informing aircraft passengers in the event of a high-altitude flight emergency. The peculiarities and distinguishing features of the obtained results, thanks to which they allowed to solve the researched problem, was the development of the algorithm of riskometry of the safety of high-altitude flights based on the human factor, with the subsequent implementation in the complex of technical means of ensuring safety. In order to build a complex of technical means of notifying passengers in the emergency of high-altitude flights, passenger safety assessments are given, calculated in real time on the basis of primary indicators available for registration during the entire flight (including in the event of an emergency). The practical application of the obtained results can be used in the aviation field in the event of an emergency.

Keywords: method of regression analysis, reserve time, complex of means of informing passengers, hypoxia

References

1. Bugayko, D., Shevchenko, O. (2020). Indicators of air transport sustainable development. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*, 4, 6–18.

2. Analysis on water content of product gas in onboard oxygen generation system (OBOGS) / Dongsheng J. and oth. (2016). *International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS): conference paper. IEEE*, 340–345. <https://doi.org/10.1109/>

AUS.2016.7748071

3. Balbi, G., Moraglio, M. (2016). A Proposal to hybridise communication and mobility research agendas. In: S. Fari, M. Moraglio, eds. *Peripheral flows: A Historical Perspective on Mobilities between Cores and Fringes*. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing, 10–27.

4. Safety Management Manual Doc 9859. (2018). Available at: <https://www.unitingaviation.com/publications/9859/>

5. Groenenboom, J. (2017). Aircraft health monitoring. The True Value of Aircraft Health Monitoring and Data Management. *Proceedings of the 13th Maintenance Cost Conference*, 172–179.

6. Global Market Forecast. Future Journeys 2013–2020. (2013). AIRBUS S.A.S Blagnac Cedex: Art @ Caractere, 125. Available at: [http://www.airbus.com/company/market/forecast/?elD=damfrontend push@docID=33755](http://www.airbus.com/company/market/forecast/?elD=damfrontend%20push@docID=33755)

7. Rudakov, S., Petuhova, O., Mirgorod, O., Kulakov, O. (2022). Efektivnist tehniknih zasobiv informuvanna pasaziriv povitpanih suden pri nadzvihaniih situasiih. *Problemi nadzvihaniih situasii*. H.: NUSZU, 2(36), 133–146. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/17071>

8. Adrian, T., Crump, R. K., Vogt, E. (2019). Nonlinearity and flight-to-safety in the risk-return trade-off for stocks and bonds. *The Journal of Finance*, 74, 4, 1931–1973.

9. Executive Agreements Database, Statement Regarding the Supplement with The Denmark and Norway Under The Memorandum of Understanding Concerning the Cooperative Framework For System Development and Demonstration of the Joint Strike Fighter, with Annexes Signed At Washington May 28 and June 20, 2022. Entered Into Force June 20, 2022. doi: 10.7910/dvn/dpheue

10. Ministère de laménagement du territoire et de lenvironnement (France) / International Handbook on Forest Fire Protection Technical guide for the countries of the Mediterranean basin, 2020, 149.

11. L. Fedrizzi, S. Rossi, R. Cristel, P.L. (2020). Borona. Corrosion and behavior of HVOF cermet coating used to replace hard chromium. *Electrochim. Acta* 2020, 49, 2803–2814.

12. Analysis on water content of product gas in onboard oxygen generation system (OBOGS) / Dongsheng J. and oth. (2016). *International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS): conference paper*. IEEE, 340–345. doi: 10.1109/AUS.2016.7748071

13. Zarubin, F. (2015). *Visotne obladnanna litalnyh aparativ, navs. posidnyk*. Harkiv, HNUPS, 112.

14. *Military Unmanned Systems. Annual Handbook*. ISSUE 26. April 2018. Shephard, 368.

15. NWCG (National Wildfire Coordinating Group). (2020). *Standards for Aerial Supervision*, February, 120.

16. Zakharin, F., Ponomarenko, S. (2017). Unmanned Aerial Vehicle Integrated Navigation Complex with Adaptive Tuning/*Proceedings of IEEE 4 th International Conference*, Kyiv, 23–26.

17. Grishmanov, E., Mogilatenko, A., Danilov, Yu. (2019). Development of information technology for automated forecasting of adverse aviation events in flight. Control, navigation and communication systems. *Collection of scientific papers*, 1, 53, 36–40. doi: 10.26906/sunz.2019.1.036

Надійшла до редколегії: 07.10.2024

Прийнята до друку: 15.11.2024