

КОМПЛЕКСНИЙ ФАКТОР «УМОВИ ПОСАДКИ» ЯК СКЛАДОВА ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ОПТИМАЛЬНОГО МІСЦЯ ПОСАДКИ

Постановка проблеми. Характеристики водної поверхні мають важливе значення при виконанні вимушеної посадки. Стан водної поверхні, стан зовнішнього середовища, інших не менш важливих факторів є визначальними для успішного виконання вимушеної посадки. Серед інших факторів, що включені до списку, є такі, які безпосередньо не впливають на процес приводнення, але мають суттєвий вплив на процес виживання до моменту прибуття евакуаційних сил і засобів.

Аналіз досліджень і публікацій. Тип аварійних подій, що розглядається, належить до тих небагатьох випадків, які неможливо відпрацювати практично або ж на тренажері з достатнім ступенем ефективності [1]. Проаналізувавши ряд нормативних документів щодо управління літальними апаратами різних типів [2,3], було зроблено висновок про те, що рекомендації стосовно виконання посадок на водну поверхню викладено в недостатньому обсязі. Зокрема не враховано ряд факторів зовнішнього середовища, які суттєво впливають на успішність виконання приводнення. Вплив хвиль, рекомендації щодо виконання посадки на хвилі різних типів було зазначено в роботі [4], також в даній роботі проведено аналіз руйнування складових частин літака при приводненні та дано рекомендації щодо будови літальних апаратів.

Мета статті. Метою даної статті є визначення, обґрунтування та дослідження впливу факторів на успішність виконання вимушеної посадки на водну поверхню і подальше виживання в умовах знаходження на водній поверхні. Зазначені фактори були оцінені експертами з метою подальшого застосування результатів дослідження в системі підтримки прийняття рішення.

Результати дослідження. На етапі формування комплексного фактора «Умови посадки» під час проведення консультацій з фахівцями, що безпосередньо мають відношення до пошуку та рятування на морі, льотної справи й інших суміжних професій, було поставлено задачу аргументувати важливість складових комплексного фактора. Нижче наведено перелік досліджуваних факторів з узагальненими коментарями щодо їх впливу на процес приводнення та виживання до початку евакуації з місця знаходження:

X_1 Наявність течій води на місці авіаційної події.

Течії в районі авіаційної події впливають як на сам процес посадки та спроможність пошуково-рятувального судна оперативно прибути до постраждалих, так і на час, який потрібен для того щоб самостійно вплав дістатися безпечного місця або плоту.

X₂. Наявність суцільної криги товщиною менше 15 см.

X₃. Наявність часткового льоду на поверхні води.

При певних умовах, таких, як достатня товщина льоду, посадку можна виконувати аналогічно до посадки на тверду підстилаючу поверхню. Тому товщину криги вказують такою, при якій повітряне судно будь-якої ваги після посадки зруйнує поверхню льоду з неминучим пошкодженням обшивки фюзеляжу. Частковий лід в районі посадки в першу чергу впливатиме на застосування бортового аварійно-рятувального обладнання.

X₄. Посадка в районі з яскраво вираженою сезонною/добовою зміною рівня води (відлив, сезонні посухи).

У деяких регіонах світу добові та сезонні коливання рівня води значні, сягають декількох метрів, що може значно вплинути на приводнення. Також під час сезону засухи можливе значне пересихання водойми, що триває кілька місяців, про що мають бути поінформовані пілоти повітряного судна (ПС).

X₅. Температура води в районі виконання посадки – від 0 до +10°C.

X₆. Температура води в районі виконання посадки – від +10 до +20°C.

Вплив температури води на виживаність ілюструє табл.1[4]:

Таблиця 1 – Вплив температури води на виживаність людини

Температура води, в якій знаходиться людина, °C	Час знаходження у воді, год	
	Втрата свідомості	Настання смерті
0	0,25	0,25-1,0
10	0,5-1,0	1,0-2,0
15	2,0-4,0	6,0-8,0
20	3,0-7,0	Перебування у воді за такої температури відносно безпечно
25	12,0	
30	70,0	

X₇. Глибина водойми в районі посадки – до двох метрів.

X₈. Глибина водойми в районі посадки – від двох до п'яти метрів.

Залежно від маси та висоти літального апарата при приводненні відбувається певне тимчасове (у разі успішного виконання) занурення частини літака у воду. Саме від глибини водойми в районі посадки залежить вірогідність того, чи зачепить літальний апарат нижньою частиною фюзеляжу дно водойми, що може спричинити руйнування обшивки фюзеляжу з неминучим швидким наповненням водою відсіків.

X₉. Хвилювання водної поверхні (шторм 1 – 3 бали).

X₁₀. Хвилювання водної поверхні (шторм 3 – 5 балів).

X₁₁. Хвилювання водної поверхні (шторм 5 і більше балів).

Велика кількість досліджень, практичний досвід вимушених посадок, нормативна база вказують на важливість урахування факторів, що характеризують хвилювання водної поверхні.

X₁₂. Наявність точкових штучних перешкод у районі посадки (хвилерізи, бурові платформи).

Хвилерізи характерні для припортової та прибережної акваторії. Бурові платформи розташовуються в районах видобутку нафти або ж на морських маршрутах при транспортуванні їх до місця видобутку. Постійні місця дислокації бурових платформ нанесено на спеціалізовані карти. Самі ж платформи обладнані маяками. При виконанні вимушеної посадки з обмеженими можливостями щодо маневрування та підбору місця посадки (вимушена посадка на етапах зльоту чи посадки), наявність на водній поверхні даних перешкод може призвести до зіткнення.

X₁₃. Метеорологічна дальність видимості (км) в районі виконання посадки – 0,05 – 0,1 (густий туман).

X₁₄. Метеорологічна дальність видимості (км) в районі виконання посадки – 0,2 – 0,5 (туман).

X₁₅. Метеорологічна дальність видимості (км) в районі виконання посадки – 1 (легкий туман).

X₁₆. Метеорологічна дальність видимості (км) в районі виконання посадки – 2 (повітря дуже мутне).

X₁₇. Метеорологічна дальність видимості (км) в районі виконання посадки – 4 (повітря мутне (імла)).

Вплив навколишнього середовища на виконання вимушеної посадки досить різноманітний. Фактори, що знижують видимість, впливають на координацію та визначення оптимальної траєкторії під час виконання посадки. На етапі виживання низька видимість впливає на відстань, з якої можна ідентифікувати аварійне повітряне судно. Час доби впливає на видимість, здатність орієнтуватися на місцевості та на ефективність проведення пошукових-рятувальних робіт, а також на відстань дії освітлювальних ракет та інших засобів сигналізації, що подаються як з боку рятувальників, так і з боку постраждалих. Але найважливіше, на що впливає зниження видимості – це неможливість визначити істинну висоту польоту, тобто відстань до водної поверхні під час заходу на посадку.

X₁₈. Наявність вітру в районі посадки як фактора, що перешкоджає виконанню заходу на посадку на вибрану ділянку (5...15 м/с).

X₁₉. Наявність вітру в районі посадки як фактору, що перешкоджає виконанню заходу на посадку на вибрану ділянку (вітер більше 15 м/с).

За наявності потужного вітрового впливу та водойми обмеженої площі (виконання посадки на акваторію рік) значно ускладнюється процес керованого підбору місця приводнення.

X₂₀. Висота нижньої межі хмар – 200...600 м або менше, кількість хмар FEW (незначні) - SCT (розкидані) – 1 – 4 октанти.

X₂₁. Висота нижньої межі хмар – 200...600 м або менше, кількість хмар BKN (значні) - OVC (суцільні) – 5 – 8 октантів.

Висота та кількість хмар ускладнюють можливість підбору оптимального місця приводнення. Відмітка ж у 700 метрів, є критичною для підбору місця приводнення.

X₂₂. Екстремальні умови (хижі морські тварини, велике скупчення морських суден).

Якщо відмова систем повітряного судна сталася на ешелоні польоту або ж на достатній висоті і є можливість детального підбору місця посадки, бажано уникати місць скупчення морських хижих тварин. Ці місця заздалегідь відомі та збігаються з ареалами їх проживання.

X₂₃. Наявність надмірно великого скупчення морських суден.

Велике скупчення морських суден найчастіше зустрічається в районі морських портів, припортових заводів або ж на фарватерах на шляху до них. Незважаючи на рекомендації виконувати приводнення в можливому полі зору морських суден посадка в район зі скупченням кораблів може призвести до масштабних руйнувань, жертв і навіть екологічної катастрофи – у разі руйнування містких танкерів з небезпечними вантажами на борту.

Формування робочої групи експертів

Групу експертів під час опитування склали шість чоловік, які є фахівцями в галузях транспортної логістики, побудови електронних маршрутів міського транспорту та авіатори-практики. Перед проведенням безпосередньо самого опитування майбутні експерти оцінили свою компетентність щодо даної проблеми. Загальний коефіцієнт компетентності складається з суми двох складових: коефіцієнта поінформованості та ступеня аргументації думок експертів. Рівень компетентності був оцінений високо та варіювався в межах показника 0,7 – 0,85.

Застосування методу експертних оцінок

Для проведення опитування було вибрано метод парного порівняння. Цей метод був застосований через його простоту в плані зручності оцінювання великої кількості об'єктів з високою точністю. При такому виді опитування експерт порівнює об'єкти, що досліджуються, при цьому встановлюючи, який з об'єктів у парі є важливіший. З цією метою було створено спеціальну комп'ютерну програму для проведення опитування, фактори порівнювались по чергово один з одним, у випадку переваги одного фактора – йому присвоювався 1 бал, у випадку рівноцінності – кожен з факторів отримував по 0,5 балів. Програму було створено на IDE (інтегроване середовище розробки) Lazarus. Після етапу зі збору думок експертів отримані бали були ранжовані. Отже, фактору, що одержав від експерта найбільшу кількість балів,

присвоювався ранг під номером 1 і так далі, у порядку спадання. Фактор, вплив якого експерти оцінили як найменший, – отримував останній порядковий номер (ранг).

Щодо факторів, навколо яких існувала неузгодженість, було проведено додаткові співбесіди. Експертам повідомлявся ранг, що отримав фактор, найбільш неузгодженні (полярні) ранги, а також наводилася інформація щодо небезпеки даного фактора з використанням наукових і статистичних даних. У підсумку із 23 факторів після другого туру опитування коефіцієнт варіації у семи факторів перевищив показник 33%. Кінцеві висновки щодо узгодженості за всією сукупністю параметрів (коефіцієнт конкордації W за Кендаллом), було вираховано за формулами:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}; \quad (1)$$

$$T_j = \frac{1}{12} \sum_{T_j} (t_j^3 - t_j), \quad (2)$$

Розрахунки свідчили про високу ступінь узгодженості експертів, а отриманий показник становив $W = 0,78$, що показало високу ступінь узгодженості експертів, а перевищення деякими факторами показника 33% можна мотивувати великою кількістю оцінюваних експертами даних і складністю порівняння деяких факторів.

Далі визначаємо оцінку значущості коефіцієнта конкордації. Для цього знаходимо критерій узгодження Пірсона

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} mn(n+1) + \frac{1}{n-1} \sum T_j}. \quad (3)$$

Знайдений χ^2 порівнювали з табличним значенням для числа степенів свободи $K = n - 1 = 23 - 1 = 22$ і при заданому рівні значущості $\alpha = 0,05$. Оскільки розрахунковий $\chi^2 = 103,17$ більше, ніж табличний (33,92444), то для $W = 0,78$ – величина не випадкова, а тому отримані результати можуть бути використані в наших подальших дослідженнях.

Оброблення результатів експертного опитування відбувалося згідно з алгоритмом:

1. Визначення середнього значення оцінок експертів

$$R_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}. \quad (4)$$

2. Визначення узгодженості оцінок експертів. Визначення дисперсії для кожного з факторів за формулою виправленої вибіркової дисперсії

$$D_i = \frac{\sum_{i=1}^m (R_{cp} - R_i)^2}{m-1}. \quad (5)$$

3. Визначення середньоквадратичного відхилення для кожного із факторів

$$\sigma_i = \sqrt{D_i}. \quad (6)$$

4. Визначення коефіцієнта варіації для кожного з факторів

$$v_i = \frac{\sigma_i}{R_{cp_i}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

5. На основі отриманої суми рангів вираховували показники вагомості досліджуваних факторів. Для цього на етапі розрахунків матрицю опитування перетворювали в матрицю перетворених рангів за формулою

$$S_{ij} = X_{max} - X_{ij}, \quad (8)$$

де $X_{max} = 22,5$.

Метод переходу від рангу до вагових показників припускає лінійну залежність між отриманим рангом і показником відносної цінності показника ефективності. Ваговий показник отримували шляхом ділення суми перетворених рангів і-го фактора на суму перетворених рангів усіх факторів групи та розраховували за формулою

$$\lambda_I = \frac{\sum_{j=1}^6 S_{ij}}{\sum_{i=1}^{18} S_i} \quad (9)$$

Результати дослідження наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Вплив складових комплексного фактора «Умови посадки» на успішність виконання посадки та подальше виживання

Позначення факторів	Група факторів «Умови посадки»	Ваговий коефіцієнт
x ₁	Наявність течії	0.0117
x ₂	Наявність суцільної криги товщиною менше 15 см	0.0683
x ₃	Наявність часткового льоду на поверхні води	0.0297
x ₄	Посадка в районі з яскраво вираженою сезонною/добовою зміною рівня води (відлив, сезонні посухи).	0.0331
x ₅	Температура води в районі виконання посадки від 0 до +10°C	0.0835
x ₆	Температура води в районі виконання посадки від +10 до +20°C	0.0366
x ₇	Глибина водойми в районі виконання посадки до двох метрів	0.0462
x ₈	Глибина водойми в районі виконання посадки від двох до п'яти метрів	0.0331
x ₉	Хвилювання водної поверхні (шторм 1 – 3 бали)	0.0614
x ₁₀	Хвилювання водної поверхні (шторм 3 – 5 балів)	0.0821
x ₁₁	Хвилювання водної поверхні (шторм 5 і більше балів)	0.0849
x ₁₂	Наявність точкових штучних перешкод в районі посадки (хвилерізи, бурові платформи)	0.0235
x ₁₃	Метеорологічна дальність видимості (км) в районі виконання посадки – 0,05 – 0,1 (густий туман)	0.0559
x ₁₄	Метеорологічна дальність видимості (км) в районі виконання посадки – 0,2 – 0,5 (туман)	0.0386
x ₁₅	Метеорологічна дальність видимості (км) в районі виконання посадки – 1 (легкий туман)	0.0366
x ₁₆	Метеорологічна дальність видимості (км) в районі виконання посадки – 2 (повітря дуже мутне)	0.02

Продовження таблиці 2

Позначення факторів	Група факторів «Умови посадки»	Ваговий коефіцієнт
X ₁₇	Метеорологічна дальність видимості (км) в районі виконання посадки – 4 (повітря мутне (імла))	0.0179
X ₁₈	Наявність вітру в районі посадки як фактора, що перешкоджає виконати заходження на посадку на вибрану ділянку (5...15 м/с)	0.0683
X ₁₉	Наявність вітру в районі посадки як фактора, що перешкоджає виконати заходження на посадку на вибрану ділянку (вітер більше 15 м/с)	0.0794
X ₂₀	Висота НМХ – 200...600 м або менше, кількість хмар FEW (незначні) – SCT (розкидані) – 1 – 4 октанти	0.00759
X ₂₁	Висота НМХ – 200...600 м або менше, кількість хмар BKN (значні) – OVC (суцільні) – 5 – 8 октантів	0.0362
X ₂₂	Наявність хижих морських тварин в районі посадки	0.00897
X ₂₃	Наявність надмірно великого скупчення морських суден	0.0362

Також було запропоновано використовувати рівняння виду, що застосоване у роботі [5], яке визначає сумарний показник наявності небезпечних факторів, що можуть мати негативний вплив на процес виконання вимушеної посадки повітряного судна на водну поверхню та подальше виживання.

Нехай сумарний показник наявності факторів, що впливають на успішність виконання посадки на водну поверхню, визначається рівнянням виду

$$K_{н.р.} = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n), \quad (10)$$

де X_i – параметр, що відповідає i -му фактору в момент виникнення вимушеної посадки;

$X_i \in X$, де X – факторний простір;

n – кількість факторів, що можуть впливати на успішність виконання посадки на водну поверхню;

$\varphi(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)$ – деяка функція, яка зв'язує фактори, що можуть впливати на успішність виконання посадки на водну поверхню.

Висновки та рекомендації. На основі аналізу експертних даних, уперше отримано множину факторів, характерних для авіаційних

аварійних подій, пов'язаних з виконанням вимушеної посадки повітряного судна на водну поверхню. До переліку факторів увійшли здебільшого явища навколишнього середовища, небезпечні прояви погоди та інші чинники, що ускладнюють або унеможливають успішне приводнення. Отриманий перелік факторів та їх вагових коефіцієнтів буде використано для подальших досліджень, метою яких є створення системи підтримки прийняття рішення.

Список використаної літератури

1. Рева А. Н. Эргономические методы и средства тренажерной подготовки летного персонала: научно-практ. Рекомендации [Текст] / А. Н. Рева, М. И. Рубец. – Кировоград: ГЛАУ, 1995. – 106 с.
2. Жулев В. И. Безопасность полетов летательных аппаратов [Текст] / В. И. Жулев, В. С. Иванов. – М.: Транспорт, 1986. – 224 с.
3. Миникелов А. Л. Летная эксплуатация воздушных судов [Текст] / А. Л. Миникелов, В. Е. Чепига, В. Г. Шахвердов. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
4. Исследования гидродинамики вынужденной посадки летательных аппаратов на воду и разработка на их основе рекомендаций по выбору параметров ЛА.: дис.... канд. техн. наук: 05.07.02 /: – М.: 2004. – 233 с.
5. Москвичев В. В. Информационная поддержка решений диспетчера для управления вынужденной посадкой воздушного судна вне аэродрома: дис.... канд. техн. наук: 05.22.13 / В. В. Москвичев–Кировоград, 1998. – 177 с.

Поступила в редакцию 16.02.2017.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*