

МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМИ ФОРМУВАННЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ АВІАДИСПЕТЧЕРА В ПОЗАШТАТНИХ ПОЛЬОТНИХ СИТУАЦІЯХ

Ю. Б. Беляєв, докт. техн. наук, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда, кандидати техн. наук

Задача вибору оптимального варіанта завершення польоту, що виникає при необхідності виконання вимушеної посадки повітряного судна (ПС), відрізняється складністю, обумовленою високим рівнем неповноти й невизначеності необхідної інформації в умовах різкого ліміту часу на вироблення рішення й напруженого психофізіологічного стану оператора. Тому за обставин виникнення позаштатних польотних ситуацій реалізація функції оперативного прийняття коректного рішення щодо місця посадки (МП), інформаційної підтримки авіаційного оператора покладається на системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Стратегії прийняття рішень в СППР авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях закладені у відокремлених підзадачах вибору оптимального варіанта завершення польоту [1]: оцінка можливості продовження польоту; оцінка критичного часу польоту ПС; оцінка типу потенційного МП; оцінка виду й придатності підстилаючої поверхні; оцінка технічної придатності аеродромів; оцінка метеорологічних умов потенційного МП; оцінка ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту. Розглянемо структуру кожної підзадачі окремо.

Підзадача оцінки можливості продовження польоту

Остаточне прийняття рішення щодо можливості подальшого продовження польоту при виникненні позаштатних ситуацій нормативними документами покладено на командира ПС [2-4], але авіадиспетчер повинен постійно бути готовим до видачі відповідної підказки. Згідно статистики [5] в подібних ситуаціях у 30-45% випадків пілоти не можуть прийняти ніякого рішення через психологічний стрес, у 25-35% випадків вони приймають неадекватне рішення.

Технологія дій екіпажу ПС при виникненні позаштатної ситуації залежить від типу ситуації і стану ПС, та визначається Керівництвом з льотної експлуатації для певного типу ПС і Наставлянням з виконання польотів у цивільній авіації. Таким чином, ці дані й повинні бути вхідними для моделі, що буде генерувати на вихід рекомендовані альтернативи завершення польоту (рис. 1).

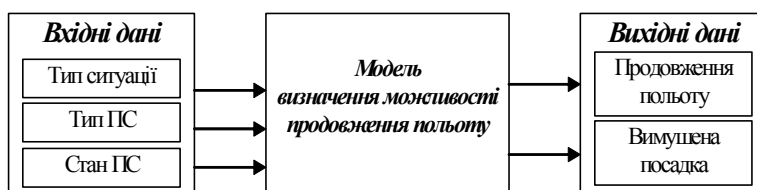


Рис. 1. Структура підзадачі оцінки можливості продовження польоту

Розглянемо дві позаштатні ситуації: одну, яка найбільш часто зустрічається в авіації – відмову двигуна, й іншу – одну з найбільш небезпечних ситуацій – пожежу на ПС [6].

Технологія дій при відмові двигуна залежить в основному від кількості двигунів $N_{\text{двиг}}$ на ПС, кількості двигунів, що відмовили $N_{\text{відм}}$, та причини відмови; при виникненні пожежі – від стадії пожежі. Загальну модель визначення можливості продовження польоту в згаданих ситуаціях доцільно збудувати на основі продукційного підходу до виводу знань у вигляді сукупності лінгвістичних висловлювань типу „ЯКЩО <умова>, ТО <дія>” та представити у вигляді *таблиці рішень* [7] (для відмови двигуна – табл. 1, для пожежі – табл. 2). Рекомендація щодо можливості продовження польоту в певній ситуації з’являється у вигляді повідомлень на моніторі авіадиспетчера.

Таблиця 1

Кількість двигунів, які працюють, $N_{\text{прац}} = N_{\text{двиг}} - N_{\text{відм}}$ IF	Альтернативи THEN
$N_{\text{прац}} = 0$	Режим планування, посадка на аеродромі або майданчику в межах області досяжності ПС (A_{11})
$N_{\text{прац}} = 1$	Посадка на найближчому придатному аеродромі (A_{12})
$N_{\text{прац}} \geq 2$	Продовження польоту до аеродрому призначення або запасного (A_{13})

Таблиця 2

Стан ПС IF	Альтернативи THEN
Пожежа загашена	Посадка на найближчому придатному аеродромі (A_{21})
Пожежа не загашена	Режим екстреного зниження, посадка на аеродромі або майданчику в межах області досяжності ПС (A_{22})

Схема визначення можливості подальшого продовження польоту у випадках відмови двигуна й пожежі на ПС наводиться на рис. 2.

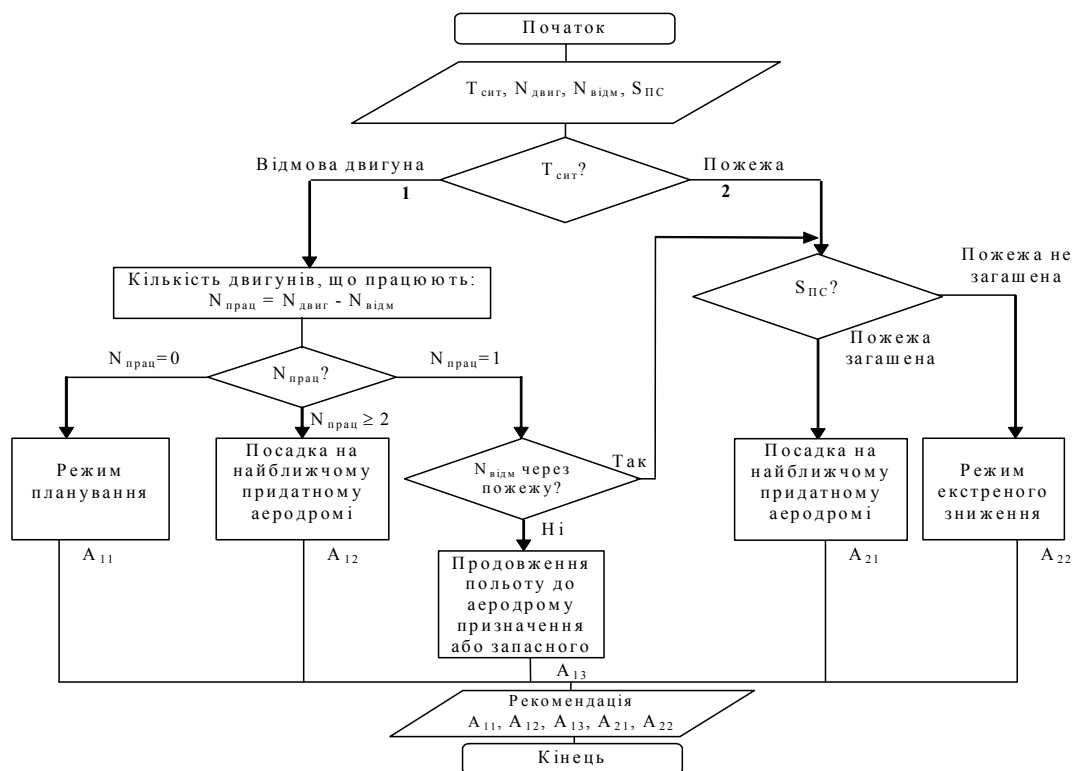


Рис. 2. Схема визначення можливості подальшого продовження польоту:
 $T_{\text{сит}}$ – тип ситуації; $N_{\text{двиг}}$ – кількість двигунів на даному типі ПС; $N_{\text{відм}}$ – кількість двигунів, що відмовили;
 $N_{\text{прац}}$ – кількість двигунів, що працюють; $S_{\text{ПС}}$ – стан ПС (пожежа загашена / не загашена)

Підзадача оцінки критичного часу польоту повітряного судна

У випадку прийняття рішення щодо необхідності виконання вимушеної посадки вона може бути виконана тільки в межах області досяжності (ОД) ПС [8], вид і розмір якої обумовлюється критичним часом польоту $t_{\text{крит}}$ і залежить від: типу ситуації; стану ПС; режиму зниження ПС; тактико-технічних характеристик (ТТХ) за типами ПС (кількості та розташування двигунів, горизонтальних і вертикальних швидкостей, крену, аеродинамічної якості і т.д.); висоти польоту ПС; координат ПС; напрямку польоту ПС.

Для кожного типу позаштатної ситуації використовується окрема математична модель побудови ОД.

Розглянемо два крайніх випадки: режим екстреного зниження ПС при виникненні пожежі на борту і режим планування при повній відмові двигунів. Для розрахунку мінімального часу, необхідного для виконання екстреного зниження й заходу на посадку $t_{\text{екстр}}$ при неліквідованій пожежі на борту та побудові області, в межах якої ПС може виконати посадку, виконуючи екстрене зниження з максимально можливою вертикальною швидкістю, застосовується *модель екстреного зниження* ПС. Для побудови області, яка обмежується критичним часом розвитку пожежі $t_{\text{пож}}$, використовуються *моделі розвитку пожеж*. Безпечно завершення польоту можливе лише за умови $t_{\text{екстр}} \leq t_{\text{пож}}$, тому $t_{\text{пож}}$ є критичним часом польоту $t_{\text{крит}}$ ПС. Для побудови області, яка визначається критичним часом $t_{\text{крит}}$, що характеризує максимальну відстань планування з ешелону польоту $t_{\text{план}} = t_{\text{крит}}$ при повній відмові двигунів на ПС, застосовується *модель планування* ПС.

Структура підзадачі оцінки критичного часу польоту ПС наводиться на рис. 3.

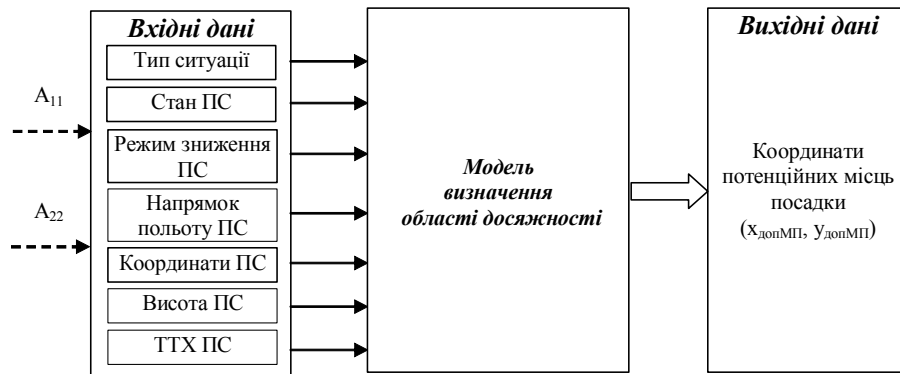


Рис. 3. Структура підзадачі оцінки критичного часу польоту ПС

При розробці аналітичних моделей визначення ОД ПС прийняті наступні допущення:

1. ПС залишається під управлінням.
2. Радіус розвороту й середня швидкість ПС розраховується без урахування впливу еквівалентного вітру $U_{\text{екв}}$ через значну

зміну його напрямлення й сили за висотами. Таким чином, шляхова швидкість W дорівнює істинній V . При необхідності врахування впливу вітру на політ ПС розрахунки проводяться на основі шляхової швидкості $W = V + U_{\text{H}} \cos KB$ [9], де U_{H} – вітер за висотами; KB – кут вітру.

3. При розрахунках використані основні формули планіметрії, так як ОД вираховується у межах площі, розмір якої дозволяє не враховувати кривизну земної поверхні (радіус ОД звичайно лежить у межах 100 км) [10].

Блок-схема алгоритму розв'язання задачі визначення ОД ПС наводиться на рис. 4.

Через те, що координати точок ОД залежать від випадкових вхідних величин (ψ , V_1 , V_2 , $V_{\text{в}}$, β , $V_{\text{пол}}$, k), множина можливих траєкторій визначається за допомогою статистичного моделювання [11] руху ПС для різних режимів зниження. Розрахунок ОД у режимі екстреного зниження відбувається за максимальними значеннями ТТХ ПС, що вказані у відповідному розділі Керівництва з льотної експлуатації для певного типу літака (в умовах працездатності всіх двигунів і при відключенні двигуна через його пожежу значення відрізняються).

Оновлення і вивід на монітор авіадиспетчера ОД ПС відбувається дискретно з кроком часу Δt . Побудова ОД починається від точки з координатами $(x_{\text{ПС0}}, y_{\text{ПС0}})$, яка відповідає координатам ПС, зменшеним на величину затримки $S_{\text{затр}}$. $S_{\text{затр}}$ враховує час затримки на оцінку ситуації і прийняття рішення щодо можливості подальшого продовження польоту $t_{\text{оц}}$, а також на ведення переговорів між пілотом і диспетчером $t_{\text{зв'язку}}$. Так як екстрене зниження починається після оцінки ситуації, то для цього випадку $S_{\text{затр(екстр.зн.)}} = V_1 \cdot t_{\text{зв'язку}}$; для випадку планування величина затримки $S_{\text{затр(планув)}} = V_{\text{пол}} \cdot (t_{\text{оц}} + t_{\text{зв'язку}})$.

Результатом розрахунків є визначення координат місць, які можна використовувати для виконання вимушеної посадки ПС $(x_{\text{можМП}}, y_{\text{можМП}}) \in (X_{\text{ОД}}, Y_{\text{ОД}})$.

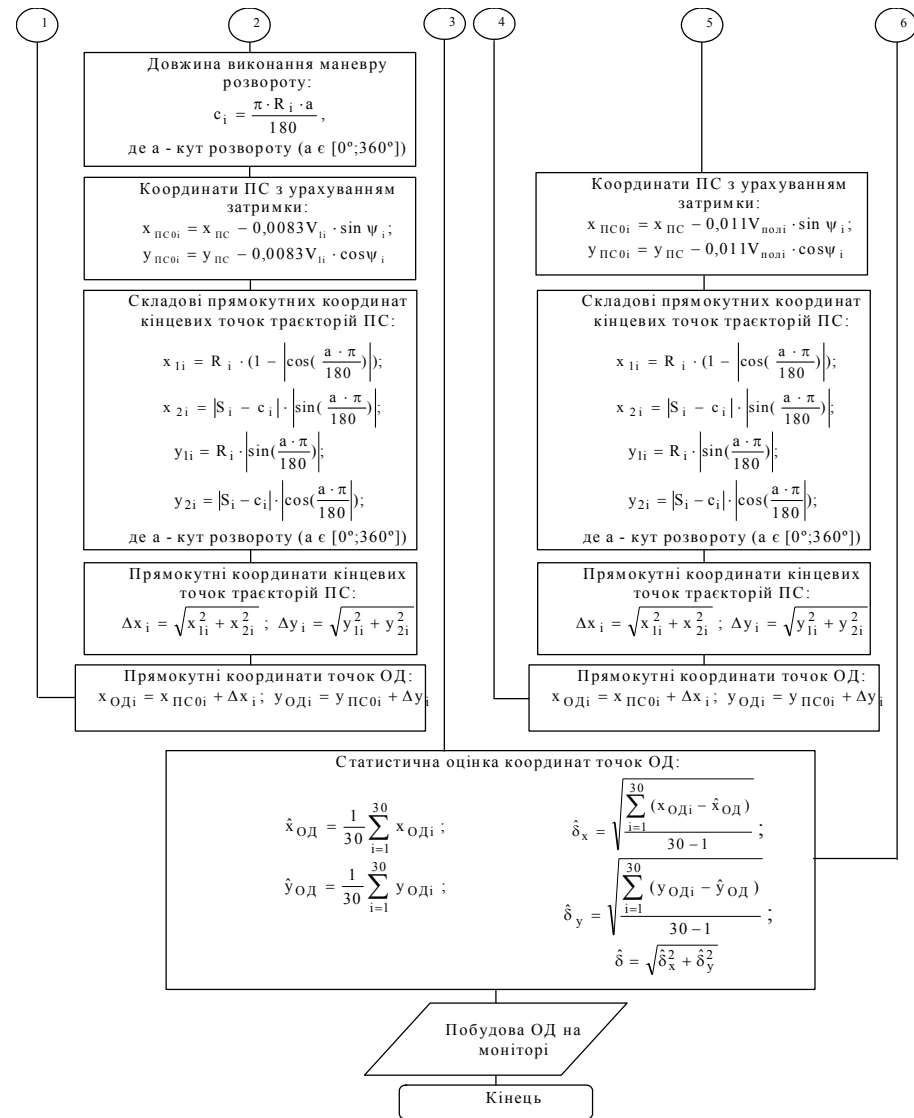
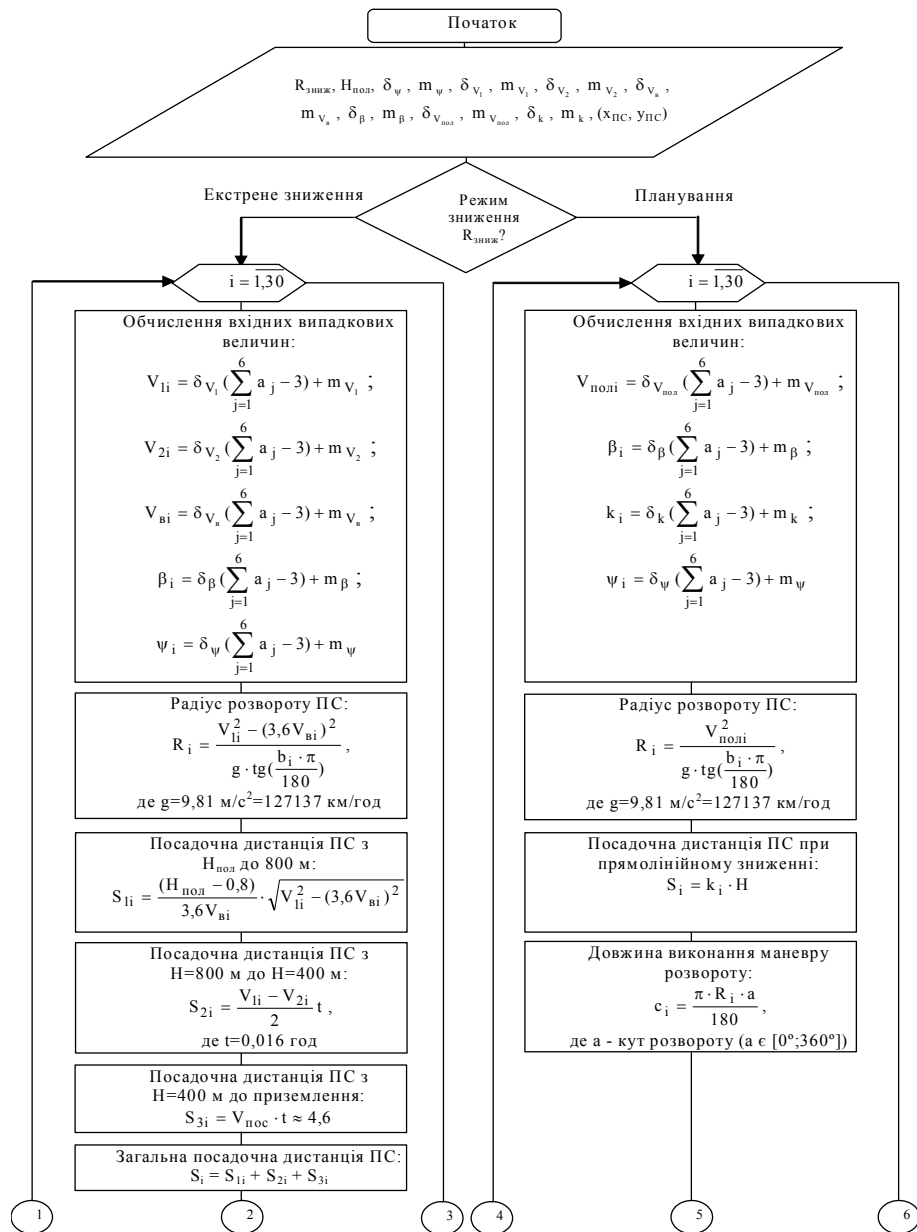


Рис. 4. Блок-схема алгоритму визначення ОД ПС:
 $R_{знизж}$ – режим зниження (екстремне зниження / планування); $x_{ПС}, y_{ПС}$ – координати ПС; $H_{пол}$ – висота польоту, км; ψ – курс польоту ПС, °; V_1 – істинна швидкість зниження з ешелону польоту до мінімальної безпечної висоти (близько 800 м), км/год; V_2 – істинна швидкість зниження з мінімальної безпечної висоти до $H=400 \text{ м}$, км/год; V_a – вертикальна швидкість при екстремному зниженні, м/с; β – кут крену, °; $V_{пол}$ – істинна швидкість польоту в горизонті номінальна за висотами, км/год; k – аеродинамічна якість ПС

Підзадача оцінки типу потенційного місця посадки

Тип потенційного МП (аеродром, попередньо визначений майданчик, підібраний з повітря майданчик) обумовлює трудомісткість виконання посадки та ефективність проведення пошуково-рятувальних робіт. Структура підзадачі оцінки типу потенційного місця посадки наводиться на рис. 5. Подальша оцінка придатності проводиться тільки для МП, які потрапили до ОД ПС ($x_{\text{можМП}}$, $u_{\text{можМП}}$), в залежності від їх типу (окремо для аеродромів ($x_{\text{можаер}}$, $u_{\text{можаер}}$), які кодуються логічною 1, та майданчиків ($x_{\text{можм}}$, $u_{\text{можм}}$), що кодуються 0).

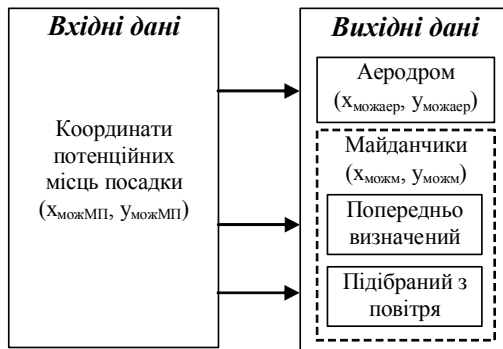


Рис. 5. Структура підзадачі оцінки типу потенційного місця посадки

На *трудомісткість* виконання посадки впливають наступні чинники:

1. Поінформованість пілота ПС щодо МП.

2. Складність процедур приземлення для екіпажу.

Вимушена посадка на аеродромі передбачає наявність інформації щодо його характеристик у збірнику аеронавігаційної інформації, який завжди є на борту ПС, та підготовлену злітно-посадкову смугу (ЗПС). Передбачені в

зоні управління повітряним рухом попередньо визначені майданчики також відомі командирі ПС. Вони характеризуються вільними від висотних перешкод підходами, рівнинною поверхнею без штучних перешкод, значною відстанню від населених пунктів, конфігуративними розмірами не менше 300×2000 м, що забезпечує посадкову дистанцію для будь-якого типу ПС [12]. Трудомісткість посадки ПС на подібних майданчиках невисока, але вона ускладнюється рекомендованою Керівництвами з льотної експлуатації процедурою посадки на місцевості з убраними шасі (“на живіт”). Таким чином, найменш трудомісткою є посадка на аеродромі, найбільш трудомісткою – на підібраному з повітря майданчику.

На ефективність проведення *пошуково-рятувальних робіт* впливають наступні чинники:

1. Точність визначення місця посадки.

2. Відстань від МП до найближчої бази пошуково-рятувальних сил, які розміщені тільки на великих аеродромах, тобто, часу, через який аварійне ПС зможе отримати допомогу.

3. Наявність під’їздів для прибуття пошуково-рятувальних сил на місце посадки.

При посадці на аеродромі найбільш точно відоме МП, до того ж, кожний аеродром має на своєму балансі аварійно-рятувальні команди, які оказують оперативну допомогу ПС, тому при даному варіанті посадки ефективність проведення рятувальних робіт максимальна. При посадці на попередньо визначений майданчик точність визначення місця приземлення ПС значно зростає, і подібні майданчики підбираються обов’язково з наявністю під’їздів і з близьким розташуванням бази пошуково-рятувальних сил. Таким чином, при посадці на аеродромі або попередньо визначеному майданчику ПС напевне отримає оперативну допомогу, а при посадці на підібраному з повітря майданчику – в залежності від його розташування, тому посадку на майданчик, підібраний з повітря, можна вважати найбільш неефективною з усіх позицій проведення операції пошуку і рятування.

Підзадача оцінки виду й придатності підстилаючої поверхні

З погляду на особливості виконання вимушеної посадки *підстилаюча поверхня* розділяється на п’ять видів [13], в залежності від внутрішньої структури, наявності природних перешкод і екстремальних умов ($k_{\text{пп}}$): рівнинна; лісна; горна; водна; пустельна. Ділянки місцевості з однорідними характеристиками можна більш детально диференціювати за наявністю штучних перешкод $k_{\text{пер}}$ (висотні перешкоди, трубопроводи, залізничні й автомобільні магістралі, високовольні лінії електропередач і т.п.), наявністю населених пунктів $k_{\text{пп}}$, зміною придатності підстилаючої поверхні в залежності від пори року, погодних умов, виду сільськогосподарських культур, що вирощуються на полях, та ін.

Для проведення класифікації поверхня певної зони правління повітряним рухом розбивається на ділянки з розмірами 2×2 км, які розрізняються коефіцієнтом придатності до посадки в залежності від притаманних ознак. Попередньо визначені майданчики за своїми ознаками мають високу придатність до виконання вимушеної посадки. Структура підзадачі оцінки виду й придатності підстилаючої поверхні, що потрапила до ОД ПС ($x_{\text{можм}}, y_{\text{можм}}$), наводиться на рис. 6.

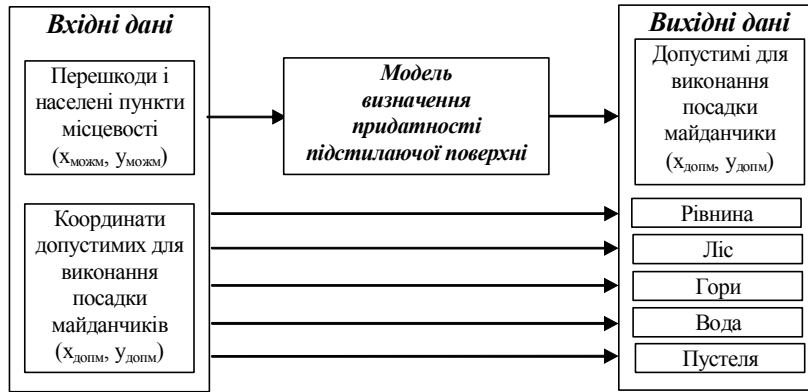


Рис. 6. Структура підзадачі оцінки виду й придатності підстилаючої поверхні

Підстилаючу поверхню можна використовувати для виконання вимушеної посадки при відсутності на ній штучних перешкод $k_{\text{пер}}$ і за межами 5 км від границі населених пунктів $k_{\text{нп}}$, що ідентифікується логічною 1. В інших випадках стан поверхні кодується логічним 0. Для кожної отриманої комбінації 1 і 0 формується певний висновок за схемою, представленою табл. 3.

леною табл. 3.

Таблиця 3

Модель визначення придатності підстилаючої поверхні до виконання вимушеної посадки

Є перешкоди?		Є населені пункти?		Висновок
Так	Ні	Так	Ні	
0	1	0	1	Поверхня непридатна до посадки
0	0	0	0	
1	0	1	0	
1	1	1	1	

Підзадача оцінки технічної придатності аеродромів

До підзадачі оцінки технічної придатності аеродромів, що потрапили до ОД ПС ($x_{\text{можжаер}}, y_{\text{можжаер}}$), відносяться:

1. Оцінка наявності робіт на ЗПС $k_{\text{роб}}$ й можливості її звільнення до моменту вимушеної посадки ПС.
2. Оцінка працездатності радіотехнічних засобів (РТЗ) посадки на аеродромі.
3. Оцінка стану поверхні ЗПС.
4. Оцінка відповідності фактичної довжини ЗПС $L_{\text{ф}}$ потрібній довжині $L_{\text{потр}}$ для посадки певного типу ПС.

Структура підзадачі оцінки технічної придатності аеродрому наводиться на рис. 7.

Наявність ремонтних робіт на ЗПС ($k_{\text{рем}}$) кодується 1, відсутність – 0. При проведенні довгочасних *ремонтних робіт* на ЗПС вона не може використовуватись для посадки і подальше визначення придатності для даного аеродрому не виконується. При короткочасних роботах на ЗПС, наприклад, її очистці, необхідно розрахувати, чи встигне звільнитися ЗПС до приземлення ПС. Блок-схема алгоритму визначення можливості звільнення ЗПС до моменту виконання посадки ПС наводиться на рис. 8. Так як час польоту ПС $t_{\text{пол}}$ залежить від випадкових вхідних величин ($V_1, V_2, V_{\text{пос}}, V_{\text{пол}}$), то він визначається за допомогою статистичного моделювання [11]. При необхідності врахування впливу вітру на політ ПС замість

істинної швидкості V при розрахунках використовують шляхову швидкість W . Час польоту ПС $t_{\text{пол}}$ до l -го аеродрому, $l = \overline{1, s}$, порівнюється з часом, потрібним для звільнення наявної на даному аеродромі ЗПС $t_{\text{звіль}}$. При виконанні умови $t_{\text{звіль}} < t_{\text{пол}} \pm \hat{\sigma}_t$ ЗПС вважається відкритою для посадки ПС, аеродром потрапляє до множини допустимих для виконання вимушеної посадки ($x_{\text{допаер}}, u_{\text{допаер}}$) і оцінюється за станом РТЗ, поверхнею та довжиною ЗПС.

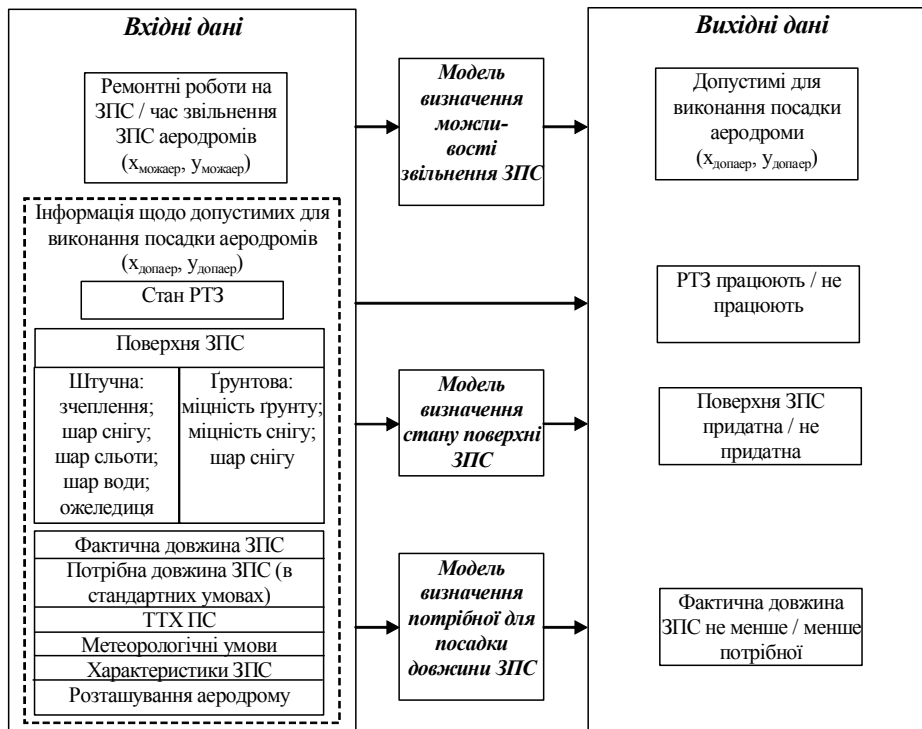


Рис. 7. Структура підзадачі оцінки технічної придатності аеродрому

Захід на посадку аварійного ПС рекомендується проводити за посадочним радіолокатором, або за посадочним радіолокатором з контролем по привідним радіостанціям (за умови справності даного устаткування) [2-4]. При відмові на аеродромі всіх РТЗ посадки в позаштатних польотних ситуаціях дозволяється візуальний захід на посадку [2]. Стан РТЗ ($k_{\text{РТЗ}}$) визначається та-

ким чином: працездатність РТЗ посадки ідентифікується логічною 1, непрацездатність – логічним 0.

Умови гальмування ПС на різних типах ЗПС ($T_{\text{ЗПС}}$) відрізняються. На покриттях штучної ЗПС вони характеризуються величиною коефіцієнта зчеплення, товщиною і видом атмосферних опадів (снігу, сльоти, води, ожеледиці) [2, 14]. При відхиленні від нормативних умов посадка на штучну ЗПС забороняється [2]. Задовільним стан штучної ЗПС признається за наступних умов:

- товщина шару атмосферних опадів: шару снігу $h_{\text{снф}}$ не більше допустимої $h_{\text{сндоп}} = 50$ мм, шару сльоти $h_{\text{слф}}$ не більше допустимої $h_{\text{слдоп}} = 12$ мм, шару води $h_{\text{вф}}$ не більше допустимої $h_{\text{вдоп}} = 10$ мм, шар льоду $h_{\text{лф}}$ відсутній $h_{\text{лдоп}}$;

- для ПС з газотурбінними двигунами (ГТД) коефіцієнт зчеплення $k_{\text{зчф}}$ не менше $k_{\text{зчдоп}} = 0,3$ або ефективність гальмування $E_{\text{гальмф}}$ не нижче допустимої ($E_{\text{гальмдоп}} = \text{„логана“}$).

Показниками, які впливають на експлуатацію ґрунтової ЗПС, є міцність ґрунту ($M_{\text{гр}}$), а також міцність ($M_{\text{сн}}$) і товщина ($h_{\text{сн}}$) ущільненого й неущільненого снігу, значення яких залежать від типу ПС ($T_{\text{ПС}}$) [14]. Посадка на ґрунтову ЗПС дозволяється, коли фактичні показники $M_{\text{грф}}, M_{\text{снф}}, h_{\text{снф}}$ не перевищують гранично допустимих показників $M_{\text{грдоп}}, M_{\text{сндоп}}, h_{\text{сндоп}}$, встановлених Керівництвом з льотної експлуатації для даного типу ПС.

На рис. 9 наводиться блок-схема алгоритму визначення стану поверхні ЗПС.

Чинниками, що визначають потрібну для посадки довжину ЗПС, є ТТХ ПС (тип двигуна, посадкова маса), метеорологічні умови (температура повітря, напрямок і швидкість вітру, видимість), характеристики ЗПС (нахил, стан поверхні), розташування аеродрому (висота над рівнем моря). Блок-схема алгоритму визначення довжини ЗПС, потрібної для посадки, наводиться на рис. 10.

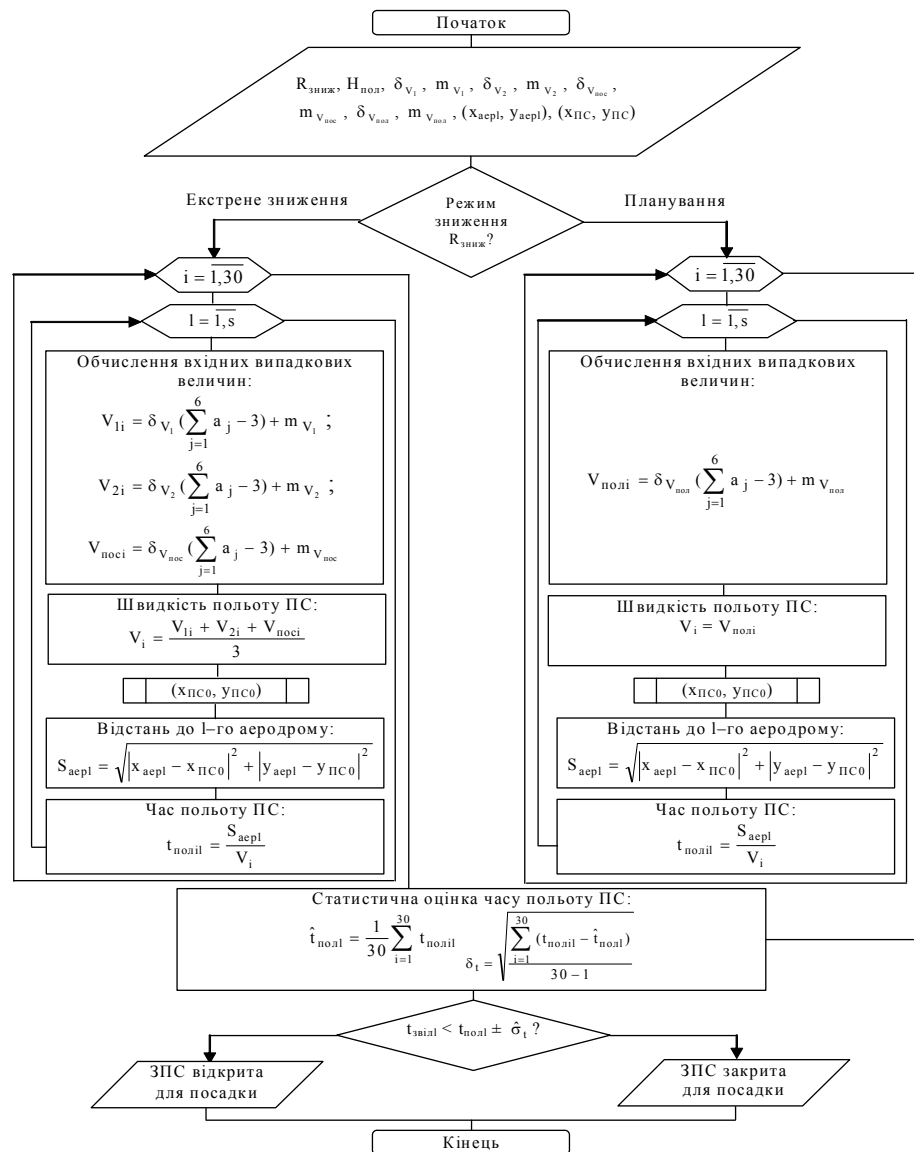


Рис. 8. Блок-схема алгоритму визначення можливості звільнення ЗПС до моменту виконання посадки ПС: $S_{аерл}$ – відстань від ПС до l-го аеродрому; $(x_{аерл}, y_{аерл})$ – координати l-го аеродрому; $(x_{пс0}, y_{пс0})$ – координати ПС з урахуванням величини затримки $S_{затр}$; V_1 – істинна швидкість зниження з ешелону польоту до мінімальної безпечної висоти (близько 800 м); V_2 – істинна швидкість зниження з мінімальної безпечної висоти до висоти 400 м; $V_{нос}$ – посадкова швидкість ПС

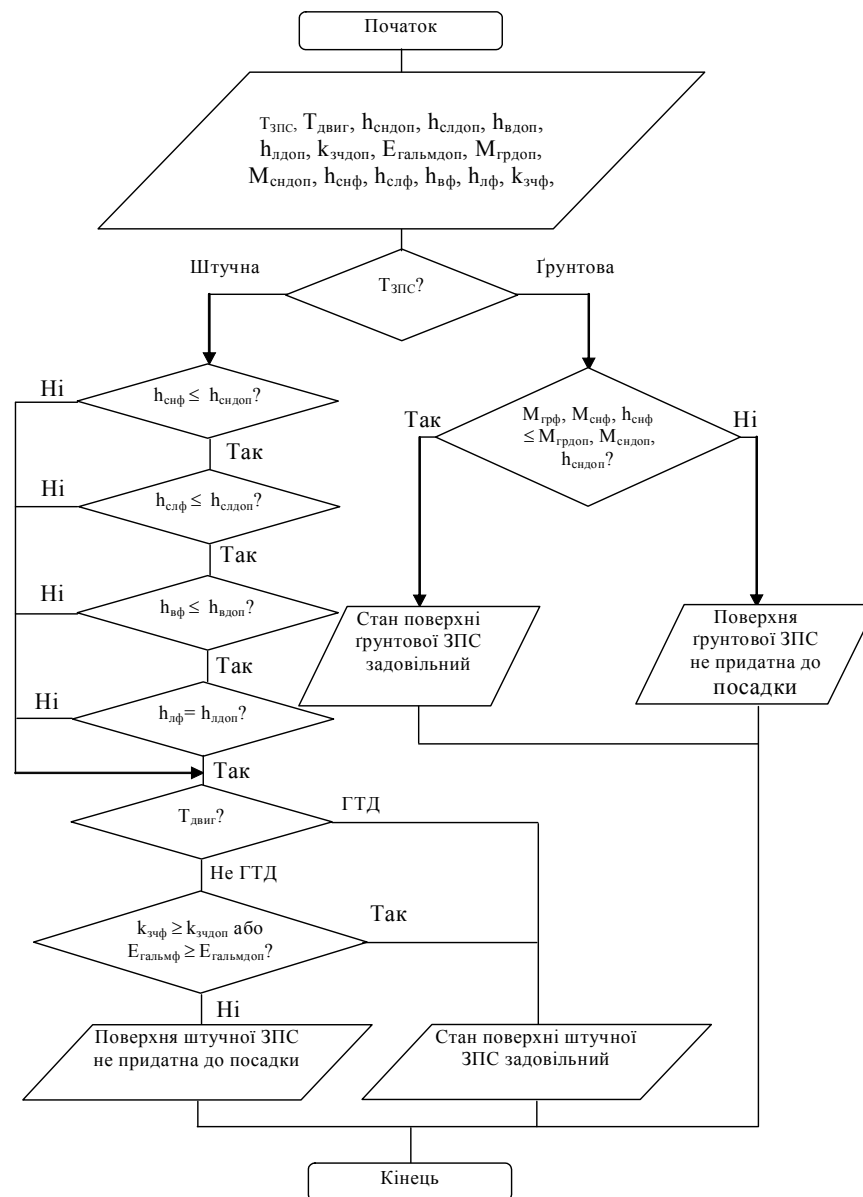


Рис. 9. Блок-схема алгоритму визначення придатності поверхні ЗПС до посадки

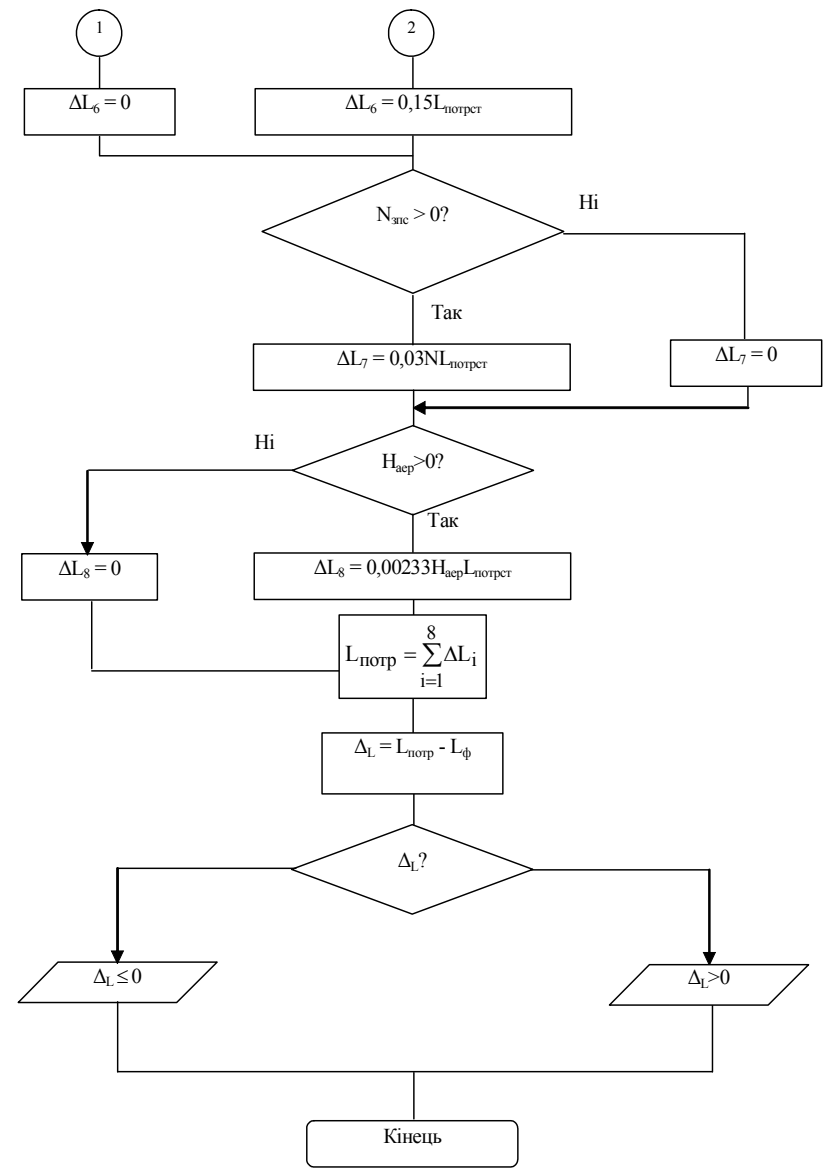
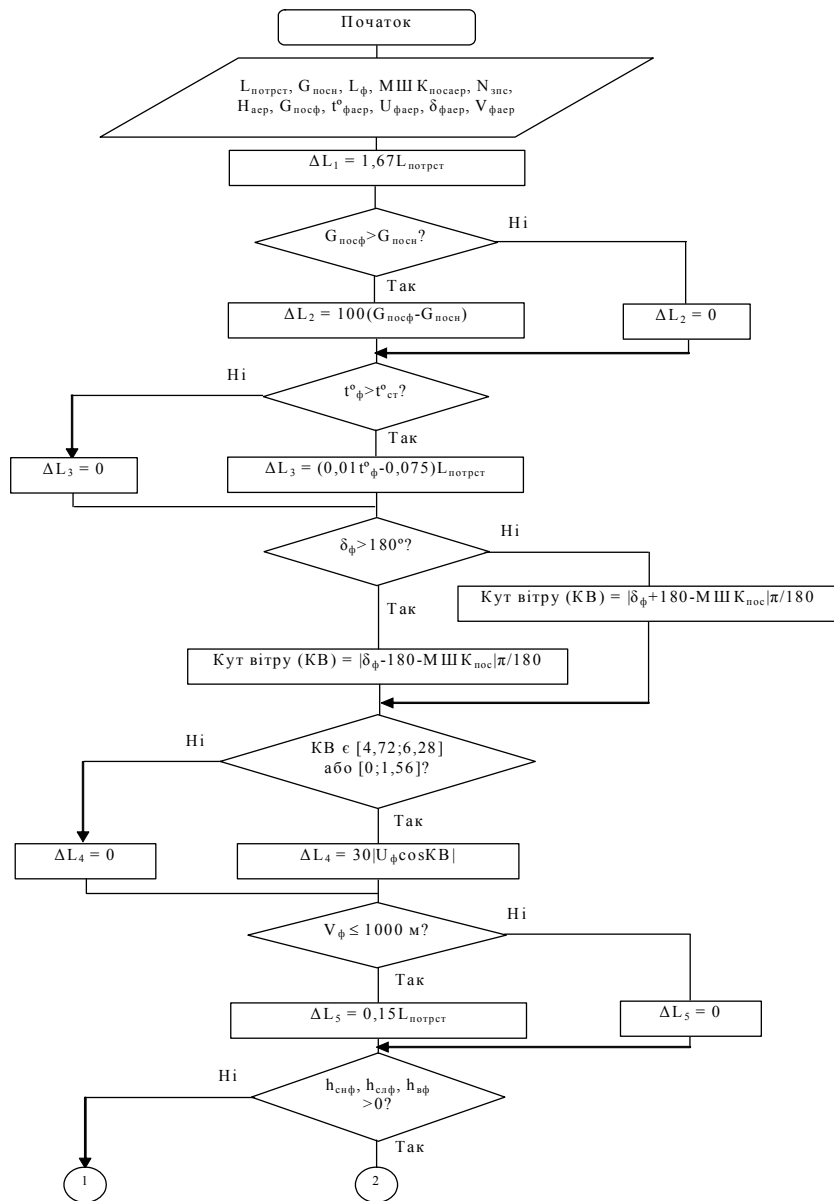


Рис. 10. Блок-схема алгоритму визначення потрібної для посадки довжини ЗПС

Потрібна довжина ЗПС для посадки $L_{\text{потр}}$ збільшується відносно стандартної $L_{\text{потрст}}$ в наступних випадках [15]:

- при збільшенні посадкової маси ПС $G_{\text{посф}}$ на 1 тону відносно нормативної $G_{\text{посн}}$ – на 100 м;
- при збільшенні температури повітря $t^{\circ}_{\text{ф}}$ на 1°C відносно стандартної ($t^{\circ}_{\text{ст}}=15^{\circ}\text{C}$) – на 1%;
- при вітрі попутного напрямку $\delta_{\text{ф}}$ зі швидкістю $U_{\text{ф}}=1\text{м/с}$ – на 30 м;
- при фактичній видимості $V_{\text{ф}}$ рівній або меншій за 1000 м – на 15%;
- при мокрій ЗПС – на 15%;
- на 3% на кожний 1% нахилу $N_{\text{зпс}}$ смуги вниз у напрямку магнітного шляхового кута посадки МШК_{пос};
- при висоті аеродрому $H_{\text{аер}}$ над рівнем моря ($H_{\text{рм}}=0$) 1 м – на 0,00233%.

До того ж, для врахування можливих відхилень ПС від установленої схеми заходу на посадку і встановлених на певних етапах заходу швидкостей, потрібна довжина ЗПС $L_{\text{потр}}$ повинна перевищувати встановлену при сертифікаційних випробуваннях $L_{\text{потрст}}$ в 1,67 раз.

Підзадача оцінки метеорологічних умов потенційного місця посадки

В підзадачу оцінки придатності потенційних МП за метеорологічними умовами (МУ), яка проводиться для множини допустимих МП ($x_{\text{допМП}}$, $u_{\text{допМП}}$) (аеродромів ($x_{\text{допаер}}$, $u_{\text{допаер}}$) та майданчиків ($x_{\text{допм}}$, $u_{\text{допм}}$)), входять:

1. Оцінка наявності небезпечних метеорологічних явищ (НМЯ) ($k_{\text{нмя}}$).
2. Оцінка відповідності висоти нижньої межі хмарності $H_{\text{нмх}}$ і видимості V установленим мінімумам.
3. Оцінки відповідності фактичних попутної, зустрічної і бокової складових вітру установленим гранично допустимим.

До НМЯ, що впливають на можливість безпечного виконання посадки, відносяться [2]: гроза, град, сильна бовтанка, сильний зсув вітру, сильне обмерзання, смерч, буревій, сильна пильна буря, сильні зливові опади. Наявність будь-якого з указаних НМЯ дуже затрудняє виконання посадки і відповідає логічній 1, відсутність – 0.

Вхідними даними для моделі визначення відповідності МУ установленим мінімумам є фактичні й мінімально допустимі висота нижньої межі хмарності й видимість, для моделі визначення відповідності складових вітру установленим гранично допустимим показникам – сила й напрямлення вітру і максимально допустимі складові вітру (рис. 11).

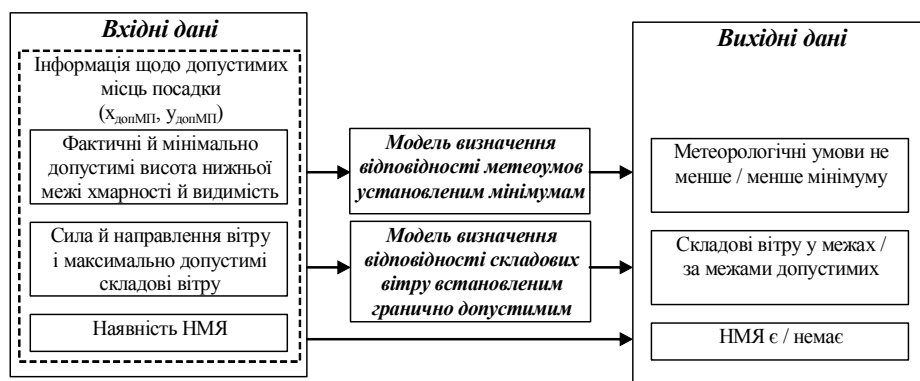


Рис. 11. Структура підзадачі оцінки метеорологічних умов місця посадки

Встановлений мінімум аеродрому для посадки залежить від наявності на ньому і працездатності світлосигнальних і радіотехнічних систем посадки, та типу ПС, що заходить на посадку; мінімум ПС – від типу ПС і системи заходу на посадку,

яка використовується; мінімум командира ПС – від класу командира. При виникненні позаштатних польотних ситуацій посадка в умовах, нижчих за метеорологічний мінімум, дозволяється [2].

Аеродром можна вважати придатним до посадки у випадку, коли фактичні висота нижньої межі хмарності $H_{\text{нмхф}}$ і видимість $V_{\text{ф}}$ на ньому не менше встановлених метеорологічних мінімумів аеродрому, ПС і командира ПС, що ідентифікується логічною 1. В усіх інших

випадках метеорологічні умови на аеродромі кодуються логічним 0. Для кожної отриманої комбінації 1 і 0 формується певний висновок за схемою, представленою табл. 4, який при необхідності може використовуватись для пояснення системою свого рішення. Майданчик вважається придатним за однієї умови: $H_{нмхфпл} \times V_{фпл} \geq H_{нмхмінкпс} \times V_{мінкпс}$.

Таблиця 4

Модель визначення відповідності метеорологічних умов на аеродромі встановленим мінімумам для посадки

Так $H_{нмхфаер} \times V_{фаер} \geq H_{нмхмінаер} \times V_{мінаер}?$ Ні	Так $H_{нмхфпс} \times V_{фпс} \geq H_{нмхмінпс} \times V_{мінпс}?$ Ні	Так $H_{нмхфкпс} \times V_{фкпс} \geq H_{нмхмінкпс} \times V_{мінкпс}?$ Ні	Висновок
1	1	1	МУ допустимі
1	0	0	МУ недопустимі
1	0	1	
0	1	1	
0	1	0	
0	0	1	
0	0	0	

Допустимі попутна, зустрічна і бокова складові вітру для виконання посадки залежать від типу ПС і стану посадкової поверхні. Блок-схема алгоритму визначення відповідності фактичних складових вітру ($U_{попф}$, $U_{зустрф}$, $U_{бокф}$) встановленим гранично допустимим ($U_{попдоп}$, $U_{зустрдоп}$, $U_{бокдоп}$) наводиться на рис. 12.

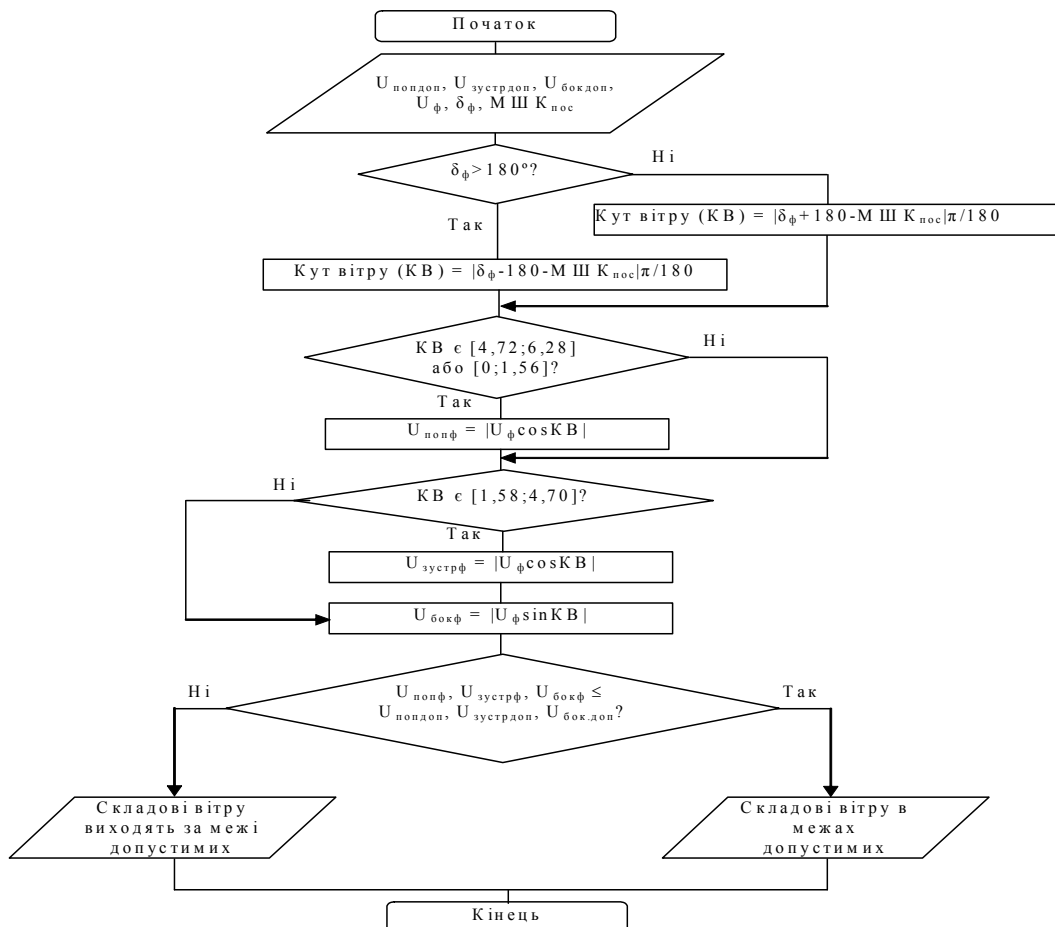


Рис. 12. Блок-схема алгоритму визначення відповідності фактичних складових вітру гранично допустимим

Підзадача оцінки ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту

Підзадача оцінки ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту полягає в оцінці потенційного збитку в результаті реалізації допустимої альтернативи $A_{\text{доп}}$ прийняття рішень і вибору оптимального варіанта за *критерієм мінімізації потенційного збитку* з урахуванням критичного часу польоту ПС (рис. 13).

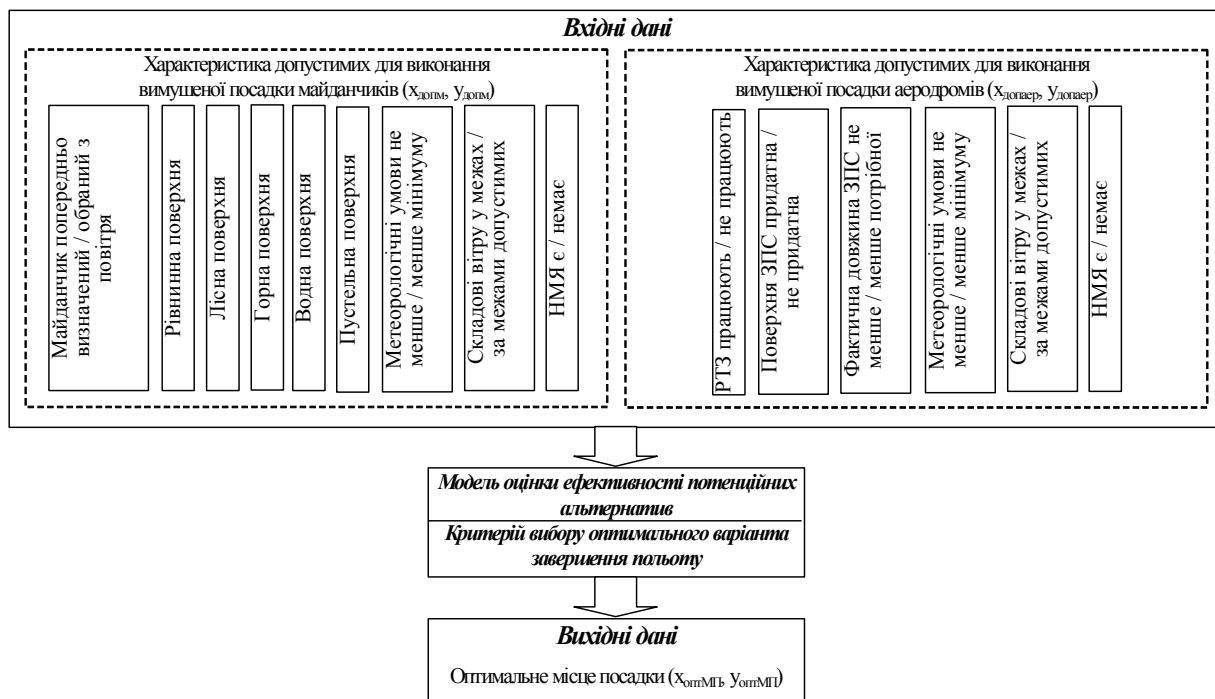


Рис. 13. Структура підзадачі оцінки ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту

Оцінка ефективності альтернативних варіантів завершення польоту проводиться на основі двохшарової прямонаправленої нейронної сітки (двошарового перцептрона), реалізованої за допомогою нейропакета NeuroPro 0.25 [16].

Висновки

Здійснено структурну декомпозицію задачі вибору оптимального варіанта завершення польоту на підзадачі, окреслені логікою прийняття рішень оператором в позаштатних польотних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки ПС:

- оцінка можливості продовження польоту;
- оцінка критичного часу польоту ПС;
- оцінка типу потенційного МП;
- оцінка виду й придатності підстилаючої поверхні;
- оцінка технічної придатності аеродромів;
- оцінка метеорологічних умов потенційного МП;
- оцінка ефективності потенційних альтернатив і формування оптимального варіанта завершення польоту.

Відповідно до результатів структурної декомпозиції розроблено моделі й алгоритми формування рішень в СППР авіадиспетчера, що дозволяє комплексно реалізувати вибір оптимальної альтернативи завершення польоту в позаштатних ситуаціях, які потребують вимушеної посадки ПС.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Сікірда Ю.В.* Моделирование системы поддержки принятия решений авиадиспетчера в позаштатных полетных ситуациях: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – К.: НПК „КІА”, 2004. – 184 с.
2. *Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР (с изменениями и дополнениями).* – М.: «Воздушный транспорт», 1985. – 262 с.
3. *Правила полетов и обслуживания воздушного движения.* – Doc. 4444-RAC/501. – 13-е изд. – Монреаль, Канада, 1996. – 425 с.
4. *Технологии работы диспетчеров службы движения гражданской авиации.* – М.: «Воздушный транспорт», 1987. – 126 с.
5. *Макаров Р.Н.* Человеческий фактор: Авиационная психология и педагогика. Справочник. – М.: Изд-во Международной академии проблем Человека в авиации и космонавтике, 2002. – 490 с.
6. *Представление данных об авиационных происшествиях и инцидентах (ADREP):* Статистический ежегодник-2000. – Циркуляр ИКАО 289-AN/167. – Монреаль, Канада, 2002. – 37 с.
7. *Поспелов Д.А.* Моделирование рассуждений. Опыт анализа вычислительных актов. – М.: Радио и связь, 1989. – 184 с.
8. *Щепотко Л.А., Неделько В.Н.* Моделирование областей достижимости воздушного судна в аварийных ситуациях, требующих экстренного завершения полета // Наукові праці академії: Зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛАУ, 2000. – Вип. V. – Част. I. – С. 217–226.
9. *Черный М.А., Кораблин В.И.* Воздушная навигация: Уч. для сред. спец учеб. заведений. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 432 с.
10. *Власов С., Кудь П.* Простота и точность: Дизайн процедур маневрирования в районе аэродрома // Новости аэронавигации. – 2003. – №3 (29). – С. 24–25.
11. *Молчанов А.А.* Моделирование и проектирование сложных систем. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 359 с.
12. *Неделько С.Н., Москвичев В.В.* Подход к оценке альтернатив завершения полета в нештатных ситуациях, требующих вынужденной посадки воздушного судна // Проблеми аеронавігації: Тематич. зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛАУ, 1997. – Вип. III. – Част. II: Удосконалення процесів діяльності та професійної підготовки авіаційних операторів. – С. 17–21.
13. *Рубец М.И., Москвичев В.В.* Методика оценки пригодности подстилающей поверхности к выполнению вынужденной посадки гражданским ВС // Проблеми аеронавігації: Тематич. зб. наук. пр. – Кіровоград: ДЛАУ, 1997. – Вип. III. Част. II: Удосконалення процесів діяльності та професійної підготовки авіаційних операторів. – С. 9–15.
14. *Наставление по аэродромной службе в гражданской авиации СССР (НАС ГА-86) (с изменениями и дополнениями).* – М.: «Воздушный транспорт», 1987. – 287 с.
15. *Факторы, влияющие на длину посадочной дистанции самолета (Референт Н.Н. Коростелева)* // Воздушный транспорт. Зарубежный опыт: Экспресс-информация. – М.: ЦНТИГА, 1984. – №6. – С. 69–74.
16. *Сікірда Ю.В., Шмельова Т.Ф.* Нейросіткова модель оцінювання ефективності альтернативних варіантів завершення польоту в позаштатних ситуаціях, що потребують вимушеної посадки повітряного судна // Вісник Технологічного університету Поділля (Хмельницький державний університет). – 2004. – №2. – Ч. 1. – Т. 3. – С. 44–47.