

УДК 629.7.072

О.М. Рева, д.т.н., проф.
С.О. Дмитрієв, д.т.н., проф.
О.Я. Біло, асп.

ТЕОРЕТИКО-СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ РОЗПІЗНАВАННЯ ІСТИННИХ ВІДМОВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Враховуючи надзвичайну важливість впливу людського чинника на безпеку польотів, розглянуто аварійні ситуації, пов'язані з сигналізацією факту відмов авіаційних двигунів. Зазначено, що активно включаючись у локалізацію наслідків відмов авіаційної техніки, пілот може на 16 % збільшити надійність системи «екіпаж – повітряне судно», а за наявності аварійної сигналізації – на 25 %. Проте 73 % льотного складу не реагують на аварійну сигналізацію, а за статистикою щонайменше 33 % виключень справних двигунів відбулось унаслідок саме хибного спрацьовування аварійної сигналізації. Запропоновано статистичну модель розпізнавання істинних відмов авіаційної техніки, що враховує нелінійну оцінку функцію пілота-оператора, як основну домінуючу його діяльності в польоті.

The article, having in crew the extraordinary significance of the human factor effects upon the safety of flight, considers the emergency situations, related to the aviation engine failures indications. It is pointed out that the pilot, participating in localization of the aviation material failure consequences, can raise the reliability of «the crew-aircraft» system by 16 per cent and in the presence of emergency warning by 25 per cent. However, 73 per cent of the flight personal don't respond to the emergency warning; on the other hand, according to the statistics at least 33 per cent of the healthy engine shut-downs have been caused by the faulty operation of the emergency warning. A statistical model of aviation material true failure identification, has been suggest, which takes into account the non-linear estimate function of the operative-pilot as the main dominant of his flight activities.

безпека польотів, відмова авіаційної техніки, доміанти діяльності, прийняття рішень, розпізнавання хибного спрацьовування аварійної сигналізації, система «екіпаж – повітряне судно», статистично-ймовірнісні моделі

Постановка проблеми

Загальновідомо, що пілот-оператор, екіпаж повітряного судна (ПС) в цілому є найслабшою ланкою складної цілеспрямованої полієргатичної системи керування «екіпаж – ПС – орган обслуговування повітряного руху», що й пояснює перманентно стабільний негативний вплив людського чинника (ЛЧ) на безпеку польотів (БП) [1; 2]. Між тим, екіпаж ПС (ЕПС), активно включаючись у процеси ліквідації наслідків відмов авіаційної техніки (АТ), може суттєво (на 16 %) збільшити загальну надійність системи, а за наявності аварійної сигналізації – на 25 % [3; 4], що дає змогу розглядати його як «останній рубіж оборони» у справі забезпечення БП [5–7].

Зі статистики авіаційних подій (АП) випливає, що значна їх кількість пов'язана з відмовами силових установок (СУ) ПС. Тому системи раннього виявлення і сигналізації несправності СУ мають особливе значення у забезпеченні БП.

Абсолютна більшість таких відмов супроводжується відповідною світловою сигналізацією. Однак за даними робочої групи з ЛЧ Міждержавного авіаційного комітету 73 % пілотів не реагують на аварійну сигналізацію, вважаючи її хибним спрацьовуванням [8].

Кількість реальних вимкнень авіаційних двигунів (АД) через помилкове спрацьовування відповідних сигналізаторів становить 33 % від загальної кількості вимкнень, викликаних спрацьовуванням наявних сигналізаторів [9].

Із наведених факторів видно, які чинники призводять до низької ефективності дій ЕПС, що знижує не тільки рівень БП, але й завдає значних матеріальних збитків авіакомпаніям, адже наслідками передумов до АП з причин вимкнень працездатних АД у польоті є невиконання завдання на політ, серед яких перервані зльоти, повернення в аеропорт вильоту і посадки у проміжних пунктах і т. ін.

Значущість проблеми своєчасного і правильного розпізнавання відмови АТ в умовах хибного спрацьовування аварійної сигналізації переконливо підтверджує катастрофа літака Іл-62, що відбулась у липні 1980 р. в аеропорту Шереметьєво (Москва), коли хибне спрацьовування аварійної сигналізації «Пожежа» спровокувало ЕПС вимкнути перший, а потім і другий АД, що й призвело до сумних наслідків. Екіпаж у складі двох досвідчених пілотів, бортінженера і штурмана суворо дотримувалася інструкції (сигнал пожежі – вимикай двигун) без аналізу конкретної ситуації (сигнал «Трясіння штурвала») [10].

Аналіз досліджень і публікацій

Основним мотивом, що спонукає ЕПС вимкнути АД, є виявлення спрацьовування світових сигналізаторів або відхилень у показаннях інших приладів. У своїх діях ЕПС керується вимогами Керівництв з льотної експлуатації (КЛЕ), невиконання яких розцінюється правовими документами як порушення. Забезпечення вимог дає змогу ЕПС, який діє згідно з КЛЕ, у переважній більшості випадків локалізувати відмову одного з двигунів (а іноді й більшої їх кількості) й успішно завершити політ. Варіанти прийняття рішень (ПР) показано на рис. 1. Цю проблему намагалися вирішити В.Б. Афанасьєв, Л.В. Серпухін [10], О.Л. Микителов, В.Є. Чепіга [11], А. Аль-Аморі [12] та інші дослідники. Однак правомірно керуючись статистично-ймовірнісними моделями відмов СУ і відповідних засобів сигналізації, вони або не враховували основну доміную діяльності пілотів, або орієнтувалися виключно на лінійні оцінні функції проблемної ситуації, яка виникає у зв'язку з включенням сигналізації. Втім відомі інші оцінні функції [13].

Дослідження [4] показують, що абсолютна більшість членів ЕПС має нелінійні оцінні функції. Пілоти, в яких основною психологічною доміную професійної діяльності є байдужість – схильність – несхильність до ризику, співвідносяться як 1 (3 %) : 11 (34 %) : 20 (63 %).

Мета статті полягає в розробленні статистично-ймовірнісної моделі правильного розпізнавання аварійної сигналізації з орієнтуванням саме на нелінійні оцінні функції пілотів.

Модель процесу розпізнавання істинного/хибного спрацьовування аварійної сигналізації

Оцінюючи надійність ергатичної системи «екіпаж – ПС» (СЕПС) слід зауважити, що людина-оператор (ЛО) проявляє такі риси, як можливість адаптуватись, самоактуалізація, самоконтроль у конфліктних (ігрових) ситуаціях. Виявивши відхилення у роботі системи, ЕПС своїми діями прагне компенсувати або усунути вплив відмови на результат польоту.

Унаслідок реалізованих екіпажем дій параметри СЕПС можуть не вийти за допустимі межі і система буде вважатися (за визначенням) надійною [14]. Проте, якщо екіпажу і не вдалося запобігти виходу параметрів системи за допустимі межі, то це ще не означає, що має відбутися АП. Це залежатиме як від поведінки ПС, так і від дій екіпажу.

Правильні і своєчасні дії ЕПС зберігають надійність СЕПС у разі потрапляння системи в несприятливі умови.

Інформаційна модель польоту про стан АД формується [15–17]:

- значеннями параметрів контролю, що індицируються засобами відображення інформації (ЗВІ);
- станом звукових і світлових сигналізаторів;
- підказкою мовних інформаторів;
- характерним сприйняттям ЕПС (на слух чи за відчуттями) деяких режимів роботи АД і деяких відмов, скажімо, помпажу, зміни шумів і тряски АД і т. ін.

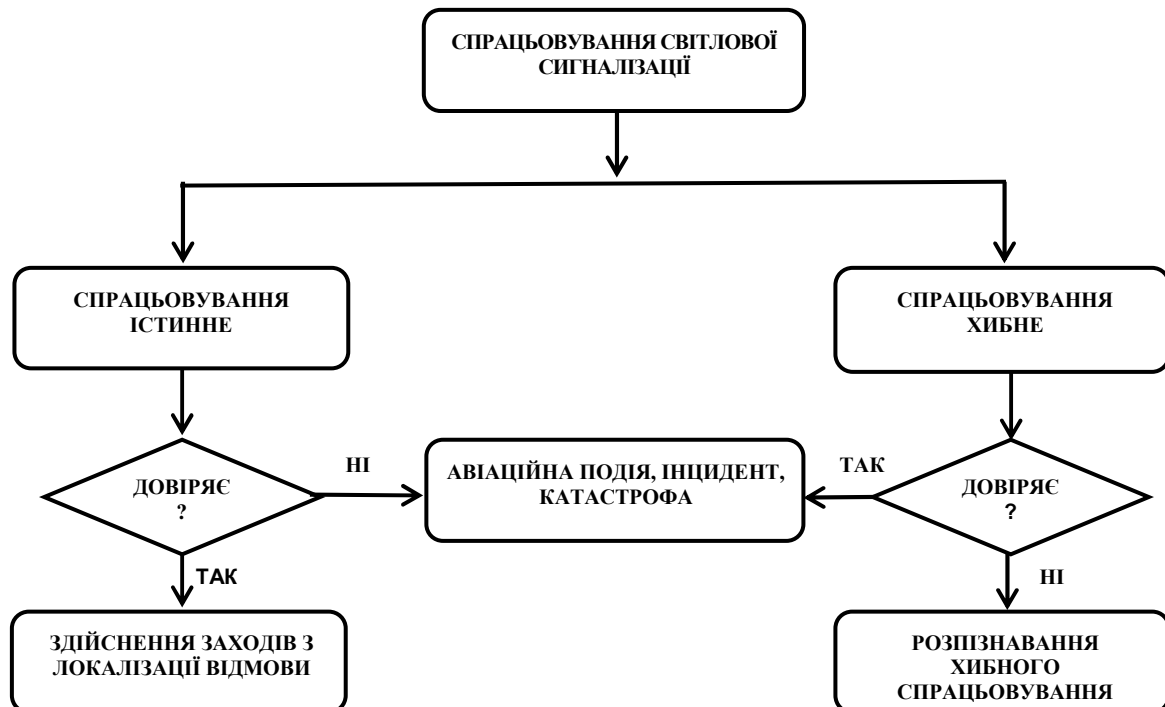


Рис. 1. Варіанти реакції пілота на спрацьовування світлової сигналізації

Зокрема, для контролю за станом роботи СУ ПС застосовуються такі види сигналізації:

- небезпечна температура газів;
- небезпечна температура підшипників;
- небезпечна вібрація;
- стружка в маслі;
- мінімальний тиск масла;
- мінімальний тиск ;
- мінімальний залишок масла;
- засмічення паливного фільтра;
- механізація компресора;
- положення замка реверса.

Стан АД в інформаційній моделі описується множиною контрольованих параметрів або їх характерними ознаками.

Під ознакою будемо розуміти спостережуваний стан параметра x_j із множини $X = \{x_j\}_j^m$, який контролює фізичний процес функціонування або стан окремого вузла, елемента чи функціональної системи (ФС) у цілому.

Наприклад, під час контролю показання температури газів можна спостерігати та контролювати такі ознаки, що характеризують стан параметра:

- стабільне положення стрілки приладу або її незначні коливання у зоні, яка відповідає допустимим значенням параметра, або поза нею;
- швидкий або повільний рух стрілки в напрямках, що відповідають зростанню чи зменшенню значень параметра;
- загоряння світлового сигналізатора у випадку, коли параметр досяг величини, що відповідає настроюваному (граничному) значенню.

Отже, стан параметра оцінюють за кількома ознаками, котрі можна поділити на такі:

- ознаки, що характеризують перебування параметра у допустимих межах;
- ознаки, що показують відхилення параметрів від нормальних значень, які відповідають заданому режиму роботи АД.

Позначимо ознаку відповідності значення параметра x_j нормам через \bar{y}_j (немає ознаки), а відхилення від норми (наявність ознаки) – через y_j . Використовуючи формальну логіку, запишемо умову працездатності АД:

$$D \rightarrow y_1 \wedge y_2 \wedge \dots \wedge y_j \wedge \dots \wedge y_m, \tag{1}$$

умову відмови:

$$\bar{D} \rightarrow y_1 \vee y_2 \wedge \dots \wedge y_j \wedge \dots \wedge y_m, \tag{2}$$

де D, \bar{D} – працездатний і непрацездатний стан;

$\rightarrow, \wedge, \vee$ – символи логічних операцій імплікації, кон'юнкції і диз'юнкції.

Умови (1), (2) визначають алгоритми розв'язання задачі розпізнавання, пов'язаної з перевіркою виконання логічної умови «Параметри в нормі», результатом якої можуть бути два наслідки:

- якщо параметри відповідають нормам технічних умов експлуатації (НТУЕ), то ПР «АД – працездатний»;
- якщо один із параметрів не відповідає НТУЕ (відхилення стрілки приладу, світіння сигналізатора і т. п.), то ПР «АД – несправний».

Однак наявність чи відсутність ознак (сигналів) \bar{y}_j чи y_j можуть бути наслідком як порушень у роботі АД \bar{D} , так і в інформаційному каналі \bar{K} системи контролю або сигналізації (рис. 2).

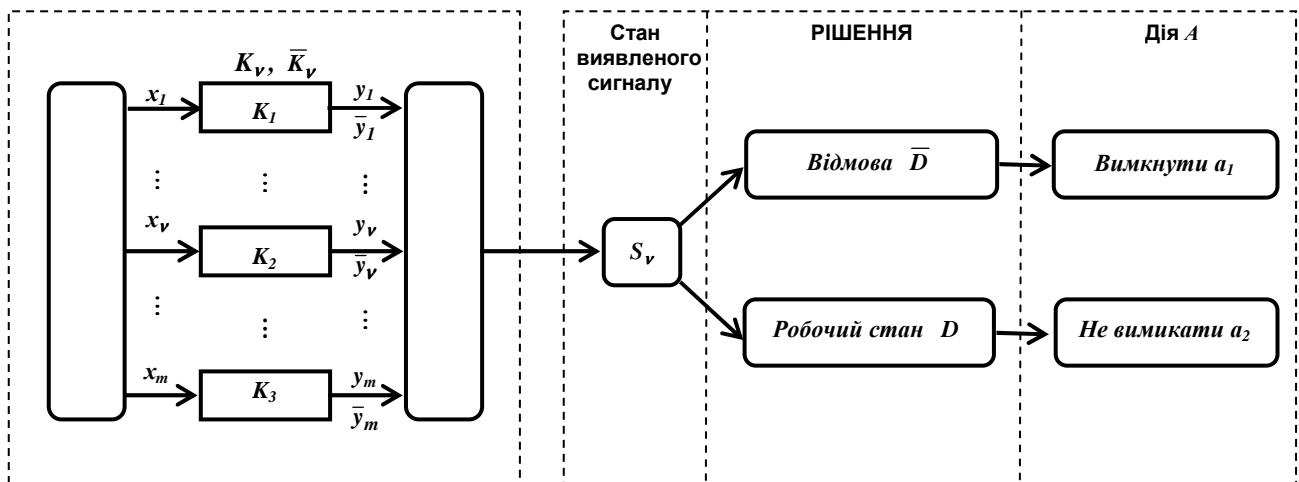


Рис. 2. Схема процесу прийняття рішення під час розпізнавання стану АД:
ГТД – газотурбінний двигун

Отже, завдання діагностування під час виявлення сигналу про несправність S_j зводиться до розпізнавання його істинності чи хибності:

- при істинному сигналі $S_j^{(I)}$ приймається рішення «АД відмовив»;
- при хибному – «АД – працездатний».

Прийняття рішення однозначно визначає відповідні дії (у разі відмови – АД вимкнути, у протилежному випадку – ні), оскільки згідно з нормами льотної придатності [18] характеристики ПС мають забезпечувати безпечно завершення польоту в разі відмови одного АД, а у деяких випадках – і більшої їх кількості на всіх його етапах.

Отже, завдання ПР про відповідні дії на виявлений сигнал відмови полягає в розпізнаванні істинності чи хибності цього сигналу – ознаки несправності.

Модель прийняття рішення щодо дій з локалізації відмов авіаційного двигуна

Наявний нині перелік параметрів, що реєструються бортовими самописцями режимів польоту, не дає повну об'єктивну характеристику про діяльність екіпажу. Тому оцінювання її ефективності звичайно проводять за якісним критерієм безпомилковості, де під помилкою розуміють дії, спрямовані на локалізацію несправності, які неадекватні стану АД у ситуації, що реально склалася.

Аналіз практики моделювання ФС ПС та екіпажу свідчить, що неможливо побудувати модель, універсальну для всіх особливих ситуацій (ОС).

При цьому ПР пілотом в ОС можна розглядати як процес, що перебуває в умовах стохастичної і нестохастичної невизначеності.

У подальшому відмови ФС ПС будуть віднесені до стохастичної невизначеності.

Наприклад, важко визначити, чи є загоряння світлосигнального табло "Пожежа" ознакою дійсного загоряння АД, чи це помилкове спрацьовування датчиків і т. п. Тому прогрес у вирішенні завдань діагностування (у побудові оптимальних алгоритмів діяльності членів екіпажу) може бути досягнутий тільки коли реалізовано системний підхід, тобто враховано взаємозв'язок усіх елементів системи.

Діагностування має бути динамічним, пов'язаним з дослідженням усіх процесів, що протікають у системі. Ось чому для спостереження за додатковими ознакам (світлосигнального табло «Пожежа») на сучасних ПС ще фіксують декілька десятків ознак працездатності СУ.

В основу подальшого дослідження покладено такі припущення [4; 11; 16; 17; 19; 20]:

- пілот має один канал;

- пілот в ОС прагне мінімізувати максимально очікувані втрати корисності;

- модель статистична, тобто ґрунтується на багаторічній статистиці спостережень за роботою систем діагностування ПС.

При цьому через відношення до ризику враховують індивідуальні психологічні особливості пілотів (основна домінанта діяльності), серед яких головні схильність, несхильність, байдужість до ризику.

Невизначеність, пов'язана з невідомим станом виявленого сигналу, обмежена кількість параметрів і варіантів рішень дають змогу формалізувати процес ПР у вигляді статистичної гри з природою, в якій станом природи є стани АД, відображені на його інформаційній моделі (стани сигналу: істинний – хибний), а її супротивником – статистик (ЛО), що приймає рішення [21].

У теорії статистичних ігор завдання вибору раціонального рішення сформульованого в працях [22; 23].

Якщо відомо апіорний розподіл імовірності $\xi(\theta)$ на просторі станів природи θ , функція втрат $L(\theta, a)$, умовний розподіл $P(y, \theta)$ спостережуваної випадкової величини Y , пов'язаної з множиною θ , то для вибору найбільш прийняттого рішення a_j із простору чистих стратегій ЛО як гравця А потрібно знайти таку вирішальну функцію $d^*(y_i) = a_j$, за якої очікуваний ризик буде мінімальним:

$$R^*(\xi) = R(\xi, d^*) = \min_d R(\xi, d). \quad (3)$$

Функцію ризику для дискретних величин визначають з виразу

$$R(\xi, d) = \sum_{\theta} \sum_y L_y(\theta, d) \cdot p(y/d) \cdot \xi(\theta).$$

Розглянемо смислові значення символів, що входять у математичний вираз (3) стосовно завдання вибору рішення під час виявлення ознак відмови АД.

Простір станів природи

Припустимо, що подія одночасної відмови АД та інформаційного каналу вважається майже неймовірною, тоді простір станів природи включатиме для кожного з виявлених сигналів S_j два елементи:

$$S = \{ S_1, S_2 \},$$

де

S_1 – сигнал істинний;

S_2 – сигнал помилковий.

Простір стратегій рішень пілота

Можливими діями (рішеннями) з локалізації відмови можуть бути:

- негайне вимкнення АД;
- пошук додаткової інформації і ПР за результатами її аналізу;
- зменшення режиму роботи АД;
- перевірка справності апаратури контролю;
- невимкнення АД.

Звідси випливає, що остаточним рішенням є вимкнення АД a_1 або його невимкнення a_2 .

Перевірки, пов'язані з пошуком додаткової інформації або контролем справності апаратури, вважають можливим експериментом, під час проведення якого невизначеність зменшується.

Отже, простором рішення є множина A , що складається з двох елементів:

$$A = \{ a_1, a_2 \},$$

де

a_1 – рішення вимкнути АД;

a_2 – рішення не вимикати АД.

Функція втрат

Під час ПР у разі виявлення сигналу про несправність ЛО несе певні втрати:

- моральні;
- матеріальні;
- фізичні.

Скільки для кожного із сигналів S_v розглядаються два можливі стани S_1 і S_2 , а у разі його виявлення – два можливі рішення a_1 і a_2 , то матриця втрат має вигляд

$$L = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix},$$

де

L_{11} – втрати, коли ПР вимкнути АД після істинного сигналу про його відмову;

L_{21} – втрати, коли ПР вимкнути АД при хибному сигналі, тоді як двигун працездатний;

L_{12} – втрати, коли ПР не вимикають АД при істинній (правдивій) сигналізації про відмову дійсного сигналу (двигун відмовив);

L_{22} – втрати, коли ПР не вимикають АД при хибному сигналі (двигун працездатний).

Ураховуючи властивості функції втрат, можна вважати:

– втрати за правильних рішень дорівнюють нулю:

$$L_{11} = L_{22} = 0;$$

– втрати в разі помилки типу «помилкової тривоги» дорівнюють одиниці:

$$L_{21} = 1.$$

Тоді матриця втрат матиме такий вигляд:

$$L = \begin{bmatrix} 0 & L_{12} \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Отже, для завдання функції втрат, необхідно визначити величину втрат L_{12} , які несе пілот під час ПР про невимкнення АД після фіксування дійсного сигналу (помилка типу «пропуску»).

Простір результатів спостереження

Інформацію про стан сигналу (істинний чи помилковий) пілот може отримати й оцінити в процесі спостереження значень інших параметрів або перевіряючи справність апаратури за допомогою систем вбудованого контролю.

Позначимо через Y простір результатів цих перевірок, елементами якого будуть (y_1, \dots, y_k) .

Наслідками перевірок можуть бути два результати:

- параметри, що перевіряють, у «нормі» (інформаційний канал несправний) y_1 ;
- параметри, що перевіряють, «не в нормі» (інформаційний канал справний) y_2 . Тому їх простором буде множина

$$Y = \{y_1, y_2\},$$

а умовним розподілом

$$p(y_1, s_1), p(y_1, s_2), p(y_2, s_1), p(y_2, s).$$

Зазначимо, що

$$p(y_2, s_2) = 0,$$

$$p(y_1, s_2) = 1,$$

тобто в разі помилкового сигналу інші параметри не відповідають нормі і дорівнюють нулю, а коли відповідають – дорівнюють одиниці.

Отже, для задавання закону умовного розподілу спостережуваної випадкової величини Y достатньо встановити значення $p(y_i, s_j)$, коли в разі істинного сигналу інші параметри контролю відповідатимуть Y .

Вирішальна функція

Простір вирішальній функції задають виразом

$$D = \{d_{11}, d_{12}, d_{21}, d_{22}\},$$

де

d_{11} – ПР a_1 , якщо $Y = y_1$ або $Y = y_2$;

d_{12} – ПР a_1 , якщо $Y = y_1$, або a_2 , якщо $Y = y_2$;

d_{21} – ПР a_2 , якщо $Y = y_1$, або a_1 , якщо $Y = y_2$;

d_{22} – ПР a_2 , якщо $Y = y_1$, або $Y = y_2$.

Таким чином, задавання вибору раціональної дії належить до класу двох альтернативних задавань у статистичній грі з одиничним експериментом.

У загальному вигляді для цього задавання, прийнятих припущень та умов залежність функції ризику R від значення апіорної істинного стану сигналу $p(S_1)$ у разі використання байєсівського принципу ПР показано на рис. 3.

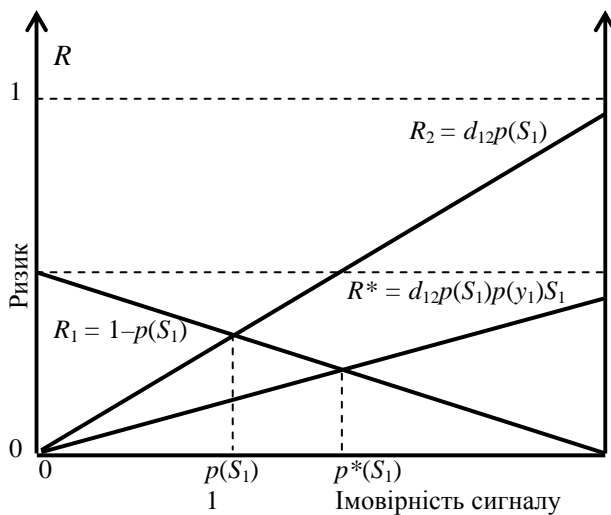


Рис. 3. Залежність функції ризику R від значення апіорної ймовірності істинного стану сигналу $p(S_1)$: R_1 , R_2 – функції ризику під час рішення a_1 (вимкнути АД) та a_2 (не вимикати АД) відповідно; R^* – функція ризику у разі рішення щодо додаткової перевірки

Якщо значення ймовірності $p(S_1) > p^*(S_1)$, то оптимальним рішенням буде a_1 (вимкнути АД) незалежно від того, чи приймав пілот рішення за інформацією, що міститься в одному виявленому сигналі, або перед цим проводив додаткову перевірку.

Якщо вірогідність $p(S_1) < p^*(S_1)$ значення функції ризику R^* (ризик під час проведення експерименту) менше R_1 і R_2 , що свідчить про доцільність виконання додаткової перевірки (оцінювання інших параметрів або перевірки апаратури контролю) перед прийняттям остаточного рішення, якщо ціна спостереження, виражена у відповідних одиницях втрат, буде менше за $(R - R^*)$, що досягає максимуму при $p_0(S_1)$.

Отже, розглянута математична модель дає змогу вибрати оптимальну дію у відповідь на виявлений сигнал, використовуючи при цьому алго-

ритм перевірки виконання логічної умови $p(S_1) \geq p^*(S_1)$:

– якщо $p(S_1) > p^*(S_1)$, то однозначним рішенням буде «вимкнення АД», очікувані середні втрати будуть мінімальними ($R_1 < R_2$ і R^*);

– якщо $p(S_1) \leq p^*(S_1)$, то потрібно перевірити інші параметри або апаратуру контролю ($R^* < R_1$ і R_2) і за результатами перевірки ПР «вимкнути двигун» у разі невідповідності НТУЕ іншим параметрам (система контролю справна) або «двигун не вимикати» у разі відповідності НТУЕ інших параметрів (система контролю несправна).

Звідси випливає, що можливі два типові оптимальні алгоритми дій екіпажу в разі виявлення спрацьовування систем сигналізації про несправність СУ (рис. 4).

Висновки

1. Основними чинниками, які знижують ефективність дій ЕПС у разі виявлення аварійної сигналізації СУ, є недостатня надійність системи сигналізації і неадекватність інструкцій КЛЕ щодо стану АД і ситуації, що створюється.

2. За заданих характеристик надійності систем аварійної сигналізації підвищення надійності дій з локалізації наслідків відмов АД може бути досягнуто через удосконалення рекомендацій КЛЕ, котрі мають враховувати особливості ПР ЕПС про стан АД і необхідні дії.

3. Аналіз особливостей діяльності пілота під час розпізнавання стану АД дає можливість як модель про зворотну реакцію на виявлений аварійний сигнал використовувати процедуру вибору раціонального рішення (дії) у статистичній грі.

4. На підставі запропонованої моделі сформульовано два типові алгоритми раціональних дій, виконання яких забезпечить потрібний рівень БП.

5. Для практичної реалізації моделі, тобто виявлення, який з алгоритмів, поданих на рис. 3, є оптимальним, необхідне проведення подальших досліджень з метою виявлення:

– функції втрат, що несе пілот-оператор за умови прийняття помилкового рішення, зокрема через побудову його оцінної функції;

– апіорного розподілу ймовірностей станів виявлених аварійних сигналів;

– умовного розподілу ймовірностей відхилень значень параметрів від НТУЕ в разі виникнення несправностей.

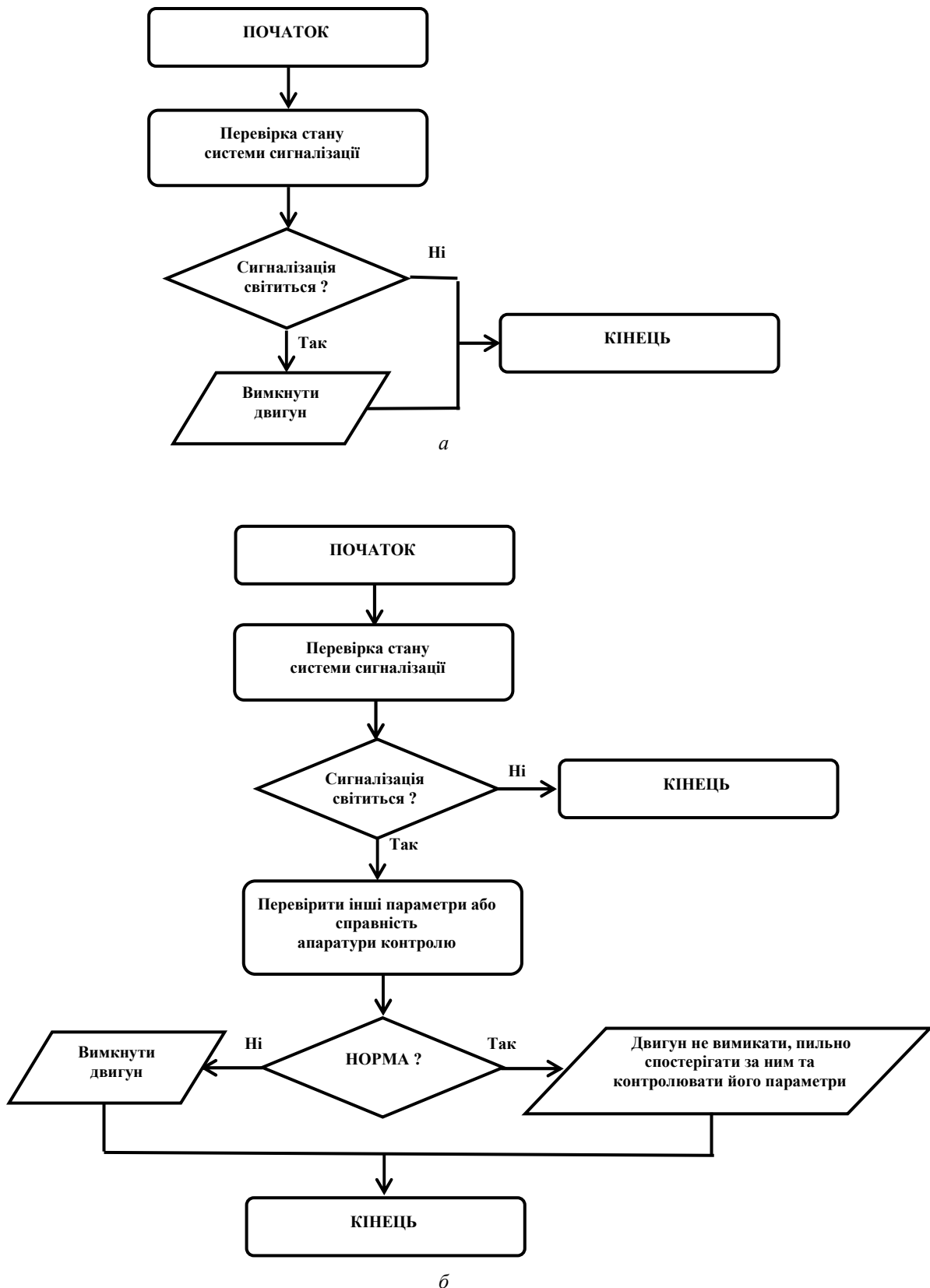


Рис. 4. Типові алгоритми раціональних дій екіпажу в разі виявлення сигналів про несправність СУ:
 а – дії, коли екіпаж абсолютно довіряє засобам сигналізації;
 б – прийняття остаточних рішень після перевірки даних параметрів, що характеризують роботу двигуна

Література

1. *Фундаментальные концепции человеческого фактора* // Человеческий фактор: сб. материалов № 1. – Циркуляр ICAO 216 AN / 131. – Монреаль, Канада, 1989. – 34 с.
2. *Изучение роли человеческого фактора при авиационных происшествиях и инцидентах* // Человеческий фактор: сб. материалов № 7. – Циркуляр ICAO 240-AN/144. – Монреаль, Канада, 1993. – 76 с.
3. *Рева О.М.* Вплив на безпеку польотів особливостей взаємодії елементів ергатичної системи «екіпаж (пілот) – повітряне судно – орган управління повітряним рухом» / О.М. Рева, А.А. Бекмухамбетов, Г.М. Селезньов // Наук. пр. академії. – Кіровоград: ДЛАУ, 2002. – Вип. VI, Ч. I. – С. 147–155.
4. *Рева А.Н.* Человеческий фактор и безопасность полетов: Проактивное исследование влияния: моногр. / А.Н. Рева, К.М. Тумышев, А.А. Бекмухамбетов / науч. ред. А.Н. Рева, К.М. Тумышев. – Алматы, 2007. – 242 с.
5. *Руководство по предотвращению авиационных происшествий: Doc. ICAO 9422 – AN/923.* – Монреаль, Канада, 1984. – 144 с.
6. *Рева А.Н.* Последний рубеж обороны (Человеческий фактор: фундаментальные концепции ICAO) / А.Н. Рева, М.Ф. Давиденко // Авиакомпания. – М., 1995. – Пробный номер. – С. 23–28.
7. *Безпека авіації* / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін. / за ред. В.П. Бабака. – К.: Техніка, 2004. – 504 с.
8. *Психологические аспекты проблемы человеческого фактора в авиационной аварийности: анализ и стратегия профилактики* / А.В. Клюев, А.Н. Качалкин, Э.Б. Диденко и др. – М.: НТЦ МАК, 1996. – 85 с.
9. *Исследование РЛЭ самолетов (вертолетов) ГА в части действий экипажа при срабатывании систем сигнализации о неисправности силовой установки: отчет о НИР (заключительный)* / науч. рук. В.М. Ильинский. – М.: ГосНИИ ГА, 1983. – 81 с. – № ГР 0183.0067123. Инв. № 02830.083610.
10. *Давиденко М.Ф.* Проблемы подготовки летного состава как главного фактора в обеспечении безопасности полетов / М.Ф. Давиденко // Проблемы безопасности полетов: обзорная информ. – М.: ВИНТИ, 1993. – Вып. 11. – С. 31–35.
11. *Микинелов А.Л.* Оптимизация летной эксплуатации: учеб. пособ. для студ. вузов ГА / А.Л. Микинелов, В.Е. Чепига. – М.: Воздуш. трансп., 1992. – 192 с.
12. *Аль-Амори А.* Информационно-факторный способ распознавания опасных полетных ситуаций. – К.: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН України, 1997. – 53 с.
13. *Надежность и эффективность в технике: справ. – В 10 т. Т. 3. Эффективность технических систем* / под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
14. *Медведенко О.М.* Визначення характеру очікуваних, реальних та екстремальних умов експлуатації авіаційної техніки / О.М. Медведенко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. – Вип. 18. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – С. 293–298.
15. *Введение в эргономику* / под ред. В.П. Зинченко. – М.: Сов. радио, 1974. – 352 с.
16. *Основы инженерной психологии: учеб. для техн. вузов* / Б.А. Душков, Б.Ф. Ломов, В.Ф. Рубахин и др. / под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Высш. шк., 1986. – 448 с.
17. *Шеридан Т.Б.* Система человек – машина: Модели обработки информации, управления и принятия решения человеком-оператором / Т.Б. Шеридан, У.Р. Феррел / пер. с англ.; под ред. Х.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1980. – 400 с.
18. *Единые нормы летной годности гражданских транспортных самолетов стран-членов СЭВ (ЕНЛГ-С).* – М.: Междудеятельная комиссия по нормам летной годности гражданских самолетов и вертолетов СССР, 1985. – 470 с.
19. *Боднер В.А.* Оператор и летательный аппарат / В.А. Боднер. – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.
20. *Авиационные цифровые системы контроля и управления* / под ред. В.А. Мясникова, В.П. Петрова. – Л.: Машиностроение, 1976. – 608 с.
21. *Афанасьев В.Б.* Математическая модель принятия решений о действиях по локализации отказов ГТД / В.Б. Афанасьев // Тр. ГосНИИГА. – М., 1982. – Вып. 213. – С. 125–129.
22. *Де Гроот М.* Оптимальные статистические решения / М. де Гроот. – М.: Мир, 1974. – 491 с.
23. *Коршунов Ю.М.* Математические основы кибернетики: учеб. пособие для вузов / Ю.М. Коршунов. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.