

УДК 629.735.083.06

Алі Аль-Амморі, к.т.н. (Сирія)

ПРОЦЕСНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Розглянуто основні переходи в системах керування літаками нового покоління на основі процесного підходу та нових інформаційних технологій. Показано основні факторні переходи у процесах керування літаками нового покоління.

The basic transitions in control systems airplanes of new generation on the basis of process approach and new information technologies are considered in the work. The basic factor transitions are shown in the processes control airplanes of new generation.

Постановка проблеми

Головним завданням процесного підходу до забезпечення ефективності та безпеки процесів польоту на літаках нового покоління (ЛНП) є усунення аварійності за людським фактором (ЛФ) та уникнення аварій і катастроф через помилки льотного складу (ЛС). За даними ІСАО і ведучих авіакомпаній, таких, як „Боїнг”, „Аеробус”, аварій й катастрофи через помилки пілотів становлять до 70–80 %.

Отже, завдання усунення аварійності за ЛС залишається невирішеним на літаках, що експлуатуються та мають програмні автомати і багатофункціональні індикатори.

Для вирішення цього завдання необхідно виявити, чи наявні якісні переходи у процесі польоту ЛНП, таких, як Іл-96, Ту-204, Ту-334, Іл-114, Ан-70, Ан-74, Ан-140, Ан-148, Б-757, Б-767, Б-777, А-340, а не обмежитись операційною корекцією керівництв з льотної експлуатації (КЛЕ) цих літаків. Тільки перелік зауважень до КЛЕ з усунення помилок ЛС через застарілу структуру КЛЕ, методологічних помилок під час складання КЛЕ, абсолютне неврахування нової природи процесу польоту, невірні принципи в розумінні польоту як процесу не зменшать аварійності.

Без виявлення та вирішення загальних принципів питань на ЛНП зростають до 70–80 % аварій та катастроф по ЛС так само, як на літаках авіакомпаній „Боїнг” та „Аеробус”. Натепер КЛЕ ЛНП не вирішують це завдання. Якщо якісно не змінити КЛЕ, то авіаційні події за ЛФ неминучі.

Створення ЛНП привело до позитивних та негативних результатів під час їх початкової експлуатації. Головним негативним результатом під час експлуатації ЛНП на початку 90-х рр. ХХ ст. були так звані електронні катастрофи ЛНП наприклад, катастрофа аеробуса А-320 у 1992 р. Боротьба з цими катастрофами різко ускладнила початковий етап експлуатації таких літаків. З'явилась необхідність наукового обґрунтування експлуатації ЛНП, розроблення їх нових класифікацій, оцінювання причин помилок пілотів на ЛНП, більш глибокого аналізу роботи систем керування з метою уникнення електронних катастроф. Електронні катастрофи мали методологічний характер та були пов'язані з хибним розумінням простоти авіоніки ЛНП.

Під час переходу від літаків старого покоління до ЛНП особливо важливо, вирішуючи проблеми безпеки польотів та ЛФ, розглядати переходи в інформаційно-керуючих системах як переходи від аналогової до цифрової техніки (рис. 1).

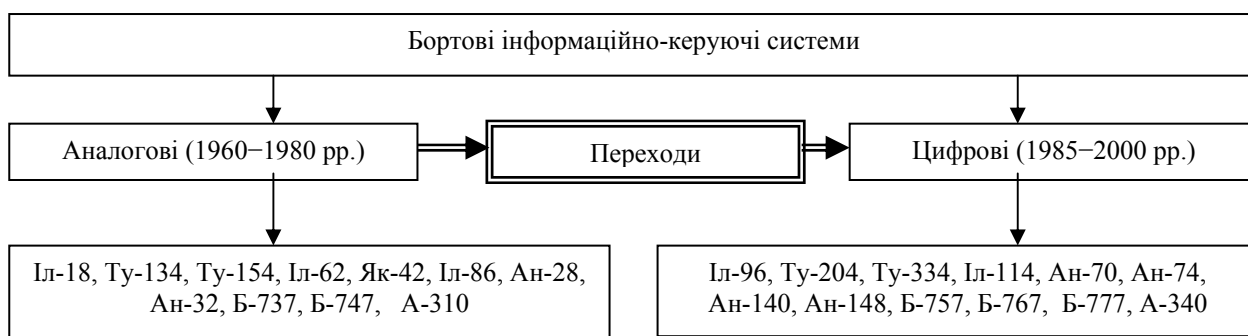


Рис. 1. Класифікація бортових інформаційно-керуючих систем ПС

Інформаційно-керуючі системи повітряних суден (ПС) – це автоматизовані системи керування, які мають широкі можливості інформаційного забезпечення людини.

Бортові інформаційно-керуючі системи ПС являють собою сукупність датчиків інформації, систем керування, що призначені для пілотування та навігації ПС [1].

Створення нових інформаційно-керуючих систем, таких, як комплексні інформаційні системи сигналізації (КІСС), комплексна індикаційна система обстановки, комплексні пілотажні індикатори, комплексні пульти радіотехнічних засобів, комплекси стандартного пілотажно-навігаційного обладнання, потребувало якісного доопрацювання багатоканальних систем реєстрації параметрів польоту.

Дослідження ЛНП після ряду авіакатастроф показали, що ці типи літаків являють собою гранично складні виробничі машини.

Виробничі процеси під час експлуатації ЛНП малодосліджені. За останнє тридцятиліття природа експлуатації складних машин якісно змінилася. Основні негативні процеси під час експлуатації ЛНП стали малоймовірними через підвищення технічної надійності літаків [2].

Факторні переходи

Застосування нових принципів аналізу та обліку поліфакторності і факторних переходів під час експлуатації ЛНП дає змогу вирішити найскладніші теоретико-практичні проблеми їх експлуатації.

Визначення перших ознак малоймовірних аварійних ситуацій [3], знання природи всіх факторів, урахування їх взаємодії дає можливість запобігання таким негативним явищам, які якісно змінюють експлуатацію ЛНП.

Учені почали розвивати нові підходи до методології початкової експлуатації ЛНП [1; 4; 5]. В основі процесів запобігання малоймовірним аваріям під час експлуатації ЛНП є не тільки явище дії факторів, а й явище факторних переходів [6; 7].

Під факторним переходом розуміють такий кількісно-якісний перехід від однієї сторони процесу до іншої, коли взаємодія факторів стає кінцевою причиною (*causa finales*) виявлення меж розгортання однієї сторони процесу (наприклад, дії), та з'являється необхідність переходу до іншої сторони процесу (наприклад, до протидії) [3; 6; 7; 8]. Згідно з класифікацією поліфакторних переходів для ЛНП виділяють три типи переходів (рис. 2):

- ступінь ускладнення ситуації;
- якість режимів керування літаком;
- ступінь резервування в структурі системи керування.



Рис. 2. Класифікація поліфакторних переходів на початковому етапі експлуатації ЛНП

Помилки екіпажу при переходах викликані насамперед тим, що в існуючих програмах навчання і тренування, зазвичай, є розділи з вивчення режимів, але не акцентується увага на поліфакторних переходах між режимами (режимних переходах) та між контурами (контурних переходах), а природа нових переходів не вивчається зовсім [6–8].

Аналіз можливих джерел помилок екіпажу та причин їх появлення під час експлуатації ЛНП (рис. 3) показує, що у всіх видах експлуатації потенційно є можлива поява потоку помилок [6].

В умовах нормальної експлуатації це можна виявити тільки на основі складання таблиць та діаграм частот повторення операцій з виділенням груп операцій (елементів системи або пультів системи) з мінімумом і максимумом частот повторення.

Під час аналізу КЛЕ Ту-204 було виділено основні групи поліфакторних переходів для виявлення природи помилок членів екіпажу ЛНП на початковій стадії освоєння нової авіаційної техніки (табл. 1).

З переходом від нормальної експлуатації ПС до аварійної відбувається якісна зміна структури дій пілотів – факторний перехід від сенсорного керування до моторно-обмежувального. Це дає змогу вирішити проблему створення фахових програм підготовки пілотів за двома типами керування ПС.

Під час роботи екіпажу в умовах контурних переходів відбувається також і перехід діяльності екіпажу за інженерно-психологічними показниками – від сенсорного до моторно-обмежувального керування (рис. 4).

Основні операції моторно-обмежувального керування – це плавне керування та обмеження.

Керівні дії в інженерній психології поділяють на три групи: просторові, силові, швидкісні.

Плавне керування має мінімальні характеристики всіх трьох груп відразу (амплітуди, траєкторії, величини зусилля, напряму змін та ін.). За інформаційною природою плавне керування вимагає від екіпажу не лише точних і розмірних рухів, але і стримання можливих посиленних відображених рухів, що виникають в умовах малоймовірних контурних переходів. Нестримання посиленних відбитих рухів, які є закономірними для екіпажу психофізіологічно, під дією технічних ефектів контурних переходів може привести до

факторного накладання технічного та інженерно-психологічного факторів, що замість ефекту плавного керування може привести до зриву керування літаком за ЛФ.

Операція обмеження найменш вивчена в інженерній психології, оскільки дуже часто за кількісними допусками і межами значень параметрів приховані якісні межі у зміні того або іншого психологічного процесу або його фази (стадії).

За контурних переходів операція "Обмеження" викликана невизначеністю дії негативних технічних та інженерно-психологічних ефектів, тому її не можна зводити до сукупності простих рухів з обмеження окремих параметрів (крону, тангажу, центровки та ін.).

За контурних переходів обмеження та плавне керування тільки разом дають потрібний ефект.

У процесному аналізі можна виділити такі характеристики контурних переходів:

- малоймовірність переходів;
- гранична невизначеність контурних переходів;
- ефект зриву керування в перші моменти появи переходів;
- інформаційно-факторне накладання ефекту посиленних відображених рухів з технічним ефектом.

Одне з важливих завдань аналізу факторних переходів під час експлуатації ЛНП – виявлення реальних меж між нормальною і факторною експлуатацією літака.

Для різних літаків межі нормальної експлуатації неоднакові, але чим досконаліша конструкція літака, тим ширше має бути діапазон нормальної експлуатації і вужчий діапазон факторної експлуатації. Тому зняття невизначеності меж нормальної експлуатації – важливе практичне завдання.

Невизначеність полягає в тому, що перехід від нормальної експлуатації до експлуатації в аварійних ситуаціях прихований багатьма випадками ускладнених умов, які можна класифікувати з позиції як нормальної, так і факторної експлуатації – складних аварійних ситуацій [6; 9].

У структурі КЛЕ ЛНП немає спільної класифікації та опису цих двох етапів експлуатації ПС [6]. Значна кількість технічних систем на борту літака приводить до реальної можливості польоту з однією або декількома несправностями на борту. Мінімальне устаткування на борту літака, швидше за все, розраховане на прийняття рішення на виліт, ніж на процес польоту з допустимими відмовами та несправностями.

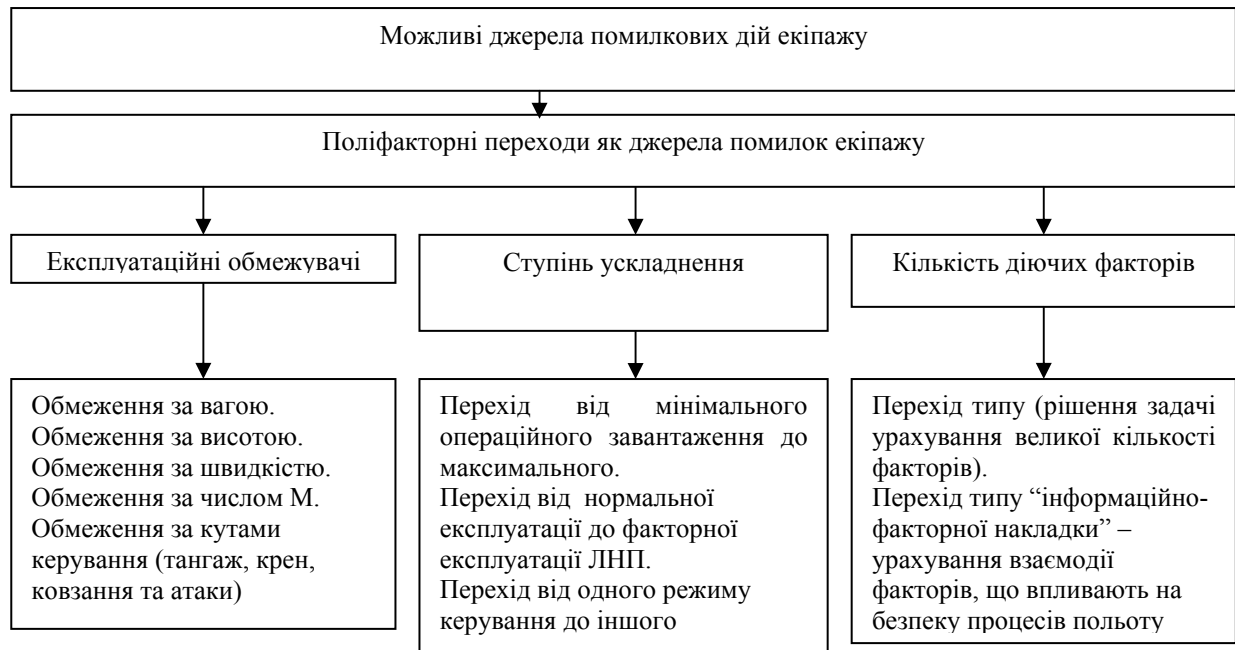


Рис. 3. Поліфакторні переходи як джерела помилкових дій екіпажу

Кількість
СМ операцій

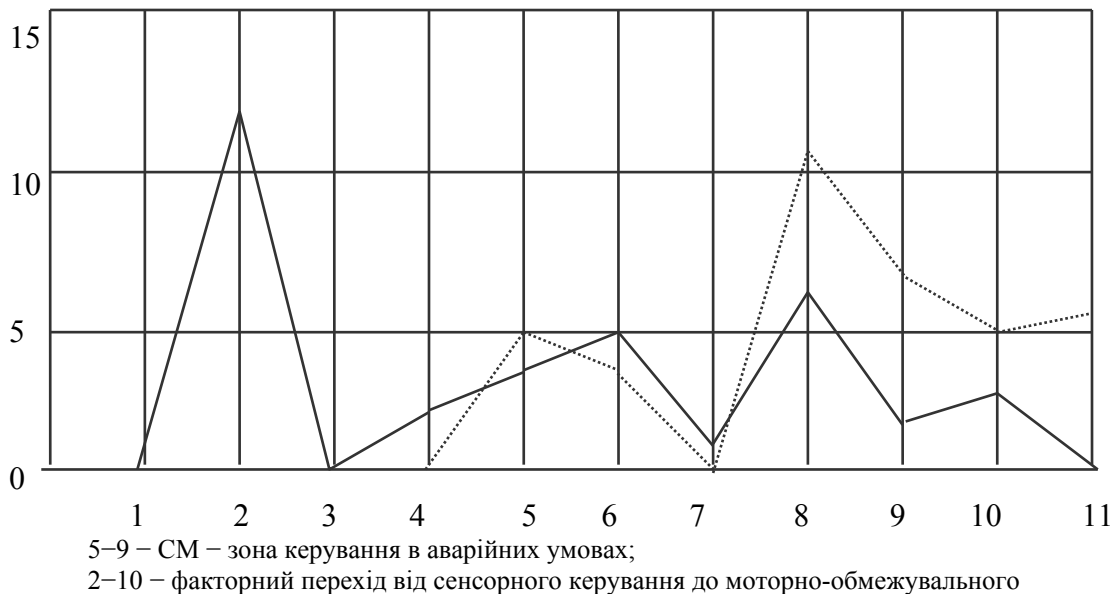


Рис. 4. Діаграма переходів видів керування та експлуатації ЛНП:

— нормальна експлуатація;

..... аварійна експлуатація;

1 – відрегулювати; 2 – переконатися; 3 – натиснути і відпустити; 4 – контроль табло;

5 – встановити; 6 – відхилити; 7 – увімкнути; 8 – обмежити; 9 – балансування;

10 – в положення; 11 – керувати плавно

Таблиця 1

Факторні переходи потенційних помилок членів екіпажу літака Ту-204

Вид помилки	Можлива інформаційно-факторна причина	Заходи з локалізації помилок
<p>Помилки з прийняття рішень за переліком припустимих відмов</p> <p>Помилки під час дій у складних умовах (помилки переходу від нормальної експлуатації до складної)</p> <p>Помилки під час дій в аварійних ситуаціях (помилки переходу від нормальної експлуатації до аварійної)</p> <p>Помилки під час виконання польоту: помилки заходу на посадку – факторний перехід „автомат – ручний” (штурвал), перехід від автоматичного до ручного керування</p> <p>Помилки факторного переходу від нормальної експлуатації до експлуатації з відмовами (за системами)</p> <p>Факторне "розколихання" під час виконання передпосадкового маневру форми "S"</p> <p>Якісна зміна структури керування літаком Ту-204 в нормальних та аварійних умовах (за наявності 33 несправностей).</p> <p>Перехід від сенсорики до моторики</p> <p>Помилки у факторному переході від циклограм автоматів до циклограм дій екіпажу та назад</p> <p>Помилки "в інших" діях екіпажу, у разі невірогідної інформації КІСС та інших електронних систем</p>	<p>Великий обсяг переліку (149). Немає розділення та класифікації припустимих відмов. Неврахування якісної зміни потоку інформації при відмовах електроніки Недооцінка граничного характеру малоймовірних подій для пілотів</p> <p>Неврахування обмеженого об'єму оперативної пам'яті людини. Неповнота логіки зміни</p> <p>Неврахування переходу від мінімального завантаження до граничного під час вибору режимів заходу min – max</p> <p>Первинно розглянути за процесами керування</p> <p>Маневр являє собою "відрізок синусоїди", частота якої може збігатися з факторним резонансом у пілота Вихід на інформаційні межі за якісної зміни структури керівних дій</p> <p>У КЛЕ немає циклограм роботи програмних автоматів літака Ту-204</p> <p>Наявність зон невизначеності в циклограмах дій екіпажу</p>	<p>Статистичне розділення переліку припустимих відмов. Визначення ступеня важливості та ступеня ризику за припустимої відмови</p> <p>Фахова методика роботи пілотів у разі повної або часткової втрати інформації КІСС</p> <p>Переробка розділу КЛЕ «Дії в аварійних ситуаціях»</p> <p>Фахова методика, що забезпечує роботу екіпажу під час переходу від автоматичних режимів до полуавтоматичних та неавтоматичних</p> <p>Потрібне виділення інженерно-психологічних видів керування літаків</p> <p>Методика протидії факторним коливанням</p> <p>Розроблення фахової інженерно-психологічної методики</p> <p>Уведення в КЛЕ циклограми роботи програмних автоматів літака Ту-204 (табличну, діаграмну, часову та ін.) крім циклограм дій екіпажу Зміна структури циклограм дій екіпажу та розміщення циклограм у КЛЕ</p>

Проте системна частина КЛЕ викладає умови нормальної експлуатації, а також дає переліки несправностей щодо кожної технічної системи, але ізольовано, виключаючи факторне малоймовірне накладання несправностей та відмов різних систем одне на одне при експлуатації систем в цілому.

Для екіпажу це створює раптові і несподівані переходи від нормальної до факторної експлуатації. Тому з застосуванням такої методології опису діапазону експлуатації літака на практиці часто виділяються лише крайні точки цього діапазону – нормальна експлуатація та аварійна ситуація. Проміжні межі зникають. Наприклад, якісні відмінності складних ситуацій від аварійних зникають, а з ними зникають способи і методи запобігання небезпеці в ускладнених умовах польоту.

Тим часом для таких ЛНП як Б-777, Ан-140, Ан-148, Ту-204, А-320, Іл-96, поява аварійної ситуації має бути малоймовірною подією, та в КЛЕ кількість таких ситуацій має бути меншою, ніж кількість складних ситуацій.

Усі ситуації, що виникають на ЛНП, у момент їх виникнення мають бути класифіковані як складні ситуації, бо перехід в аварійну ситуацію може бути класифікований після того, як існуючими засобами резервування, переходами від автоматичних до ручних режимів, контурними переходами в системі керування не вдається зупинити розвиток ситуації в негативному напрямі.

Принципово новий підхід до методології початкової експлуатації ЛНП повинен враховувати поліфакторні структури діяльності екіпажу і технології ЛНП.

Вивчення факторних переходів актуальне за такими причинами:

- типи переходів у системах керування та їх роль в реальній експлуатації – маловивчені питання під час початкового впровадження новітніх систем керування ЛНП;
- контурні переходи (внутрішні і зовнішні) в системах керування ЛНП, а не ознаки несправностей є центральним засобом підвищення ефективності експлуатації ЛНП зі змінною умовою експлуатації;
- нормальні діапазони експлуатації і в умовах несправностей, і в умовах відмов визначають структури факторних, режимних та контурних переходів;
- під час вирішення проблем безпеки польотів

ЛНП потрібно враховувати технологічну й інформаційну складність ПС, складність організації резерву і складність конструкції;

– під час початкової експлуатації ЛНП дуже важливо застосувати поліфакторний аналіз за умов експлуатації;

– процес посадки є складним, тому потрібно знати факторні переходи режимів заходу на посадку ЛНП. Під час вивчення КЛЕ літака Ту-204 було виявлено, що існує значна кількість режимів заходу на посадку, що створює велику свободу вибору у КПС для визначення режиму:

- автоматичний режим "Посадка";
- "Курсова зона" з автоматами поздовжнього каналу і стабілізації;
- директорний (індексний) режим;
- штурвальний режим.

У керівництві має бути щонайменше чотири циклограми дій екіпажу за кожним режимом. Але є всього одна циклограма – у штурвальному режимі. Циклограму дій екіпажу в основних програмних режимах літака під час заходу на посадку не розроблено, вона потребує опрацювання.

Особливу увагу під час роботи в директорному і штурвальному режимах заходу на посадку слід звернути на операцію "вимикання автоматичних режимів".

Операції вимикання (зворотні операції) зазвичай здійснюються з помилками [6–9].

Операція вимикання автоматів для літака Ту-204 має принципово важливе значення, оскільки вона є початковою операцією деяких етапів польоту, наприклад, під час заходу на посадку в директорному режимі.

Викладення режимів "Посадка" та "Курсова зона" в КЛЕ літака Ту-204 виконано дуже стисло, без докладного аналізу дій екіпажу і кожного пілота окремо. Бажано мати сучасну графічну циклограму, яка б у часі відбивала характерні моменти роботи автоматів і відповідні їм дії (оперативні або контрольні) екіпажу.

Зміну режимів "Посадка" і "Курсова зона" в КЛЕ літака Ту-204 здійснено не на рівні дій кожного члена екіпажу, а на рівні дій екіпажу в цілому. В описанні дій використовуються абстрактні терміни типу "інші операції", що створює невизначеність і викликає необхідність проведення додаткового інформаційного пошуку у розділах і підрозділах КЛЕ (табл. 2).

Таблиця 2

Прогнозовані помилки пілотів під час виконання заходів на посадку в різних режимах

Вид помилки	Причина помилки	Заходи з усунення помилки
Помилки вимикання автоматів під час переходу до директорного режиму	Немає циклограми директорного режиму в КЛЕ	Зробити циклограму директорного режиму заходу на посадку
Переплутування дій між членами екіпажу в режимі "Курсова зона"	Немає циклограми і розподілу операцій	Зробити циклограму дій екіпажу в режимі "Курсова зона"
Перегляд моменту перемикавання автоматів "Гор Нав" та "Верг Нав" на автомат "Посадка"	Немає циклограми та контрольних операцій за автоматами	Зробити циклограму дій екіпажу в режимі "Посадка"
Помилки у випуску механізації та шасі	Не виділено в КЛЕ для екіпажу	Написати великим шрифтом для екіпажу з метою чіткого розділення функцій автомата і пілотів

Висновки

1. Режими автомат "Посадка" (основний) та "Курсова зона" (допоміжний) являють собою центральний автоматичний спосіб літаководіння за програмою з автоматичним режимом. Але в розділі виконання польоту літака КЛЕ літака Ту-204 немає циклограм заходу на посадку в автоматичному режимі після виводу на курс посадки і немає циклограми заходу на посадку в директорному режимі.
2. Виникає через брак циклограм у КЛЕ (І-ред.) елемент уявної простоти дій пілотів у режимі програмного керування "Посадка", коли автомати проводять автоматичний перехід зі зниження до заходу на посадку.
3. Центральною дією пілотів та екіпажу в цілому, в режимах автоматичний "Посадка" та "Курсова зона" є контроль за роботою автоматів, оскільки в будь-який момент екіпаж повинен уміти виконувати перехід від одного режиму до іншого з відключенням автоматів.
4. Відсутність циклограм дій пілотів з автоматичними режимами "Посадка" та "Курсова зона" може спричинити зниження безпеки польотів і зниження рівня оперативного контролю з боку екіпажу за дією автоматів виконання польоту.
5. З аналітичних даних за ЛНП Ту-204, отриманих у 1994–1996 рр., видно, що в першому періоді початкової експлуатації таких ЛНП були допущені, переважно, методологічні помилки, пов'язані з недостатністю концептуального трактування проблеми автоматизації ЛНП першого покоління.
6. Боротьба проти електронних катастроф на початковому етапі експлуатації ЛНП Іл-96-300, Ту-204 була успішною (порівняно з початковим етапом експлуатації аеробусів А-310, А-320 та ін.), тому що вдалося на основі інженерно-психологічного процесного аналізу зняти помилкові погляди про "простоту" автоматики та автоматичного режиму експлуатації таких ПС.

7. Урахування комплексу факторних переходів під час експлуатації ЛНП є важливим завданням з підвищення ефективності застосування бортового електронного обладнання.

Література

1. Федоров С.М., Михайлов О.И., Сухих Н.Н. Бортовые информационно-управляющие системы: учеб. для вузов / под ред. С.М. Федорова. – М.: Транспорт, 1994. – 262 с.
2. Острейковский В.А. Анализ устойчивости и управляемости динамических систем методами теории катастроф: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2005. – 326 с.
3. Аль-Аммори Али. Информационно-факторный анализ возникновения первых моментов опасных полетных ситуаций по данным перспективных бортовых сигнализаторов // Проблемы безопасности полетов. – М.: ВИНТИ, 2006. – № 9. – С. 39–50.
4. Руководство по летной эксплуатации самолета Ил-96-300. – М., 1992.
5. Руководство по летной эксплуатации самолета Ту-204. – I ред. – М., 1988.
6. Хохлов Е.М. Явление гиперболических факторных переходов в процессах предотвращения авиационных происшествий и в других биопроизводственных процессах // Системы безопасности труда в технологических процессах гражданской авиации. – К.: КИИГА, 1988. – С. 85–91.
7. Скрипеч А.В., Аль-Аммори Али, Хохлов Е.М. Процессная концепция анализа ошибок летных экипажей по системам управления самолетов нового поколения на начальном этапе эксплуатации // Автошляховик України. – К., 2007. – № 10. – С. 112–116.
8. Хохлов Е.М. Решение задачи учета большого количества взаимодействующих факторов кольцевым анализом при противодействии авиаспециалистов факторным нагрузкам // Эргономические проблемы профессионального отбора подготовки и адаптации на производстве авиационных специалистов. – К.: КИИГА, 1985. – С. 80–90.
9. Аль-Аммори Али. Информационно-факторный способ распознавания опасных полетных ситуаций. – К.: Ин-т кибернетики, 1997. – 53 с.

Стаття надійшла до редакції 14.11.08.