

УДК 629.7.077

Т.Ф. Шмельова<sup>1</sup>, В.В. Шишаков<sup>2</sup>, І.Л. Яқуніна<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, Київ

<sup>2</sup>ТОВ “Харківський авіаційний сільськогосподарський комплекс”, Харків

<sup>3</sup>Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

## СТОХАСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ПОЛЬОТНИХ СИТУАЦІЙ НА ЕТАПАХ ЗАХОДУ НА ПОСАДКУ ТА ПОСАДКИ ПОВІТРЯНОГО СУДНА

*Стаття призначена аналізу причинно-наслідкових зв'язків в ланцюгу послідовних складних подій при виникненні аварійної ситуації, стохастичному мережевому аналізу розвитку польотної ситуації на етапах заходу на посадку повітряного судна та посадці та моделюванню прийняття рішень людиною оператором у разі виникнення аварійної ситуації. Аналіз здійснений на основі огляду пов'язаних з цією проблемою авіаційних подій і інцидентів, що мали місце за тривалий період експлуатації літаків світу з 1959 по 2011 роки.*

**Ключові слова:** безпека польотів, авіаційні події при заході на посадку і посадці, причинні фактори авіаційних подій, помилки екіпажа, людина-оператор, особлива ситуація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Однією з гострих проблем безпеки польотів є значна кількість авіаційних подій (АП) при заході на посадку і посадці повітряного судна (ПС), що пов'язано з помилками і порушеннями в роботі екіпажа. Згідно з даними Бюро

безпеки на транспорті (NTSB) [1], за останні 10 років 21,3 % АП при виконанні авіаперевезень трапились через погодні умови, з них 39,1 % – в складних метеорологічних умовах (СМУ). При цьому основною причиною АП в СМУ (68 %) визнається неправильне і несвоєчасне прийняття рішень екіпажем ПС. За дослідженнями корпорації Boeing, що охоп-

лює літаки західного виробництва за 1959-2011 роки, встановлено, що захід на посадку і посадка є найскладнішим етапом польоту [2].

Відомо, що час заходу на посадку і посадка ПС (від входу в глісаду до посадки) складає в середньому лише 5 % від загального польотного часу, але на цих етапах відбувається найбільша кількість АП з людськими жертвами – 52 %, а саме, 22 % трагічних інцидентів трапляється в процесі приземлення, 16 % – під час фінального етапу заходу на посадку, 14 % – під час початкового етапу заходу на посадку, 4 % – при зниженні ПС [2 – 4]. Для порівняння: на початку польоту 10 % авіакатастроф трапляється на зльоті, 12 % – при наборі висоти. Під час руху на крейсерській висоті польоту трапляється 11 % катастроф, 11 % – на землі (рис. 1) [2].

Згідно з даними досліджень Федерального авіаційного управління (FAA) Національного авіаційного аналітичного центру даних безпеки (NASDAC), Управління авіаційної безпеки та Служби льотних стандартів (FSS) визначено, що найбільший відсоток АП в СМУ (32,2 %) трапляється на етапі посадки [5].

Проблема запобігання АП при заході на посадку і посадки ПС має багато аспектів, систематизація та аналіз причинно-наслідкових факторів АП та інцидентів саме і розглядається в цій статті.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, проблемою скорочення кількості АП і інцидентів при заході на посадку і посадці ПС займаються науковці відомих авіаційних організацій досить тривалий період. Для поетапного вирішення проблеми пропонується [6]:

- використовувати розроблену Всесвітнім фондом безпеки польотів Карту контрольних перевірок для уникнення зіткнення справних ПС із землею – Controlled Flight into Terrain Checklist (CFIT Checklist);

- організувати навчання льотного складу з використанням, у тому числі, відеофільмів з Керівниц-

тва по скороченню кількості АП при заході на посадку і посадці ПС Всесвітнього фонду БП [7];

- внести необхідні зміни в Стандартні експлуатаційні правила;

- впроваджувати вдосконалені системи попередження про близькість землі – Enhanced Ground Proximity Warning System (EGPWS) і активно використовувати наявні системи GPWS.

Створена Всесвітнім фондом БП Цільова група ALAR (Approach-and-Landing Accident Reduction,) з 1996 року займалась розробкою загальносвітових рекомендацій зі зниження кількості АП при заході на посадку і посадці ПС [4].

У документах [7 – 9], розроблених Всесвітнім фондом БП, міститься інформація щодо висновків та рекомендацій, спрямованих на запобігання АП по категорії ALA (Approach-and-Landing Accident), включаючи події, по категорії CFIT.

На сайті Aviation Safety Network [10] знаходиться база даних з безпеки польотів, інформація оновлюється раз на тиждень та містить опис про АП і інциденти з понад 12200 різними типами ПС починаючи з 1943 року, для управління БП доцільно проводити регулярний статистичний аналіз АП і інцидентів [28].

У [3, 11 – 14] приведено дані про АП і інциденти, які пов'язані з невиконанням обов'язкових дій членів екіпажів, розглянуто природу помилкових дій людини-оператора (Л-О) в умовах рішення одночасних завдань з управління польотом. Запропоновано рекомендації керівникам авіакомпаній і членам екіпажів по недопущенню помилок, пов'язаних з невиконанням дій, обов'язкових для забезпечення безпечного завершення польоту.

В [15] розглянуто проблеми помилкової посадки ПС в простих метеоумовах на руліжну доріжку, паралельну заданій злітно-посадковій смугі (ЗПС), або на іншу ЗПС, проведено психологічний аналіз помилкових дій пілота та визначено конкретні небезпечні фактори, що приводять до таких помилок.

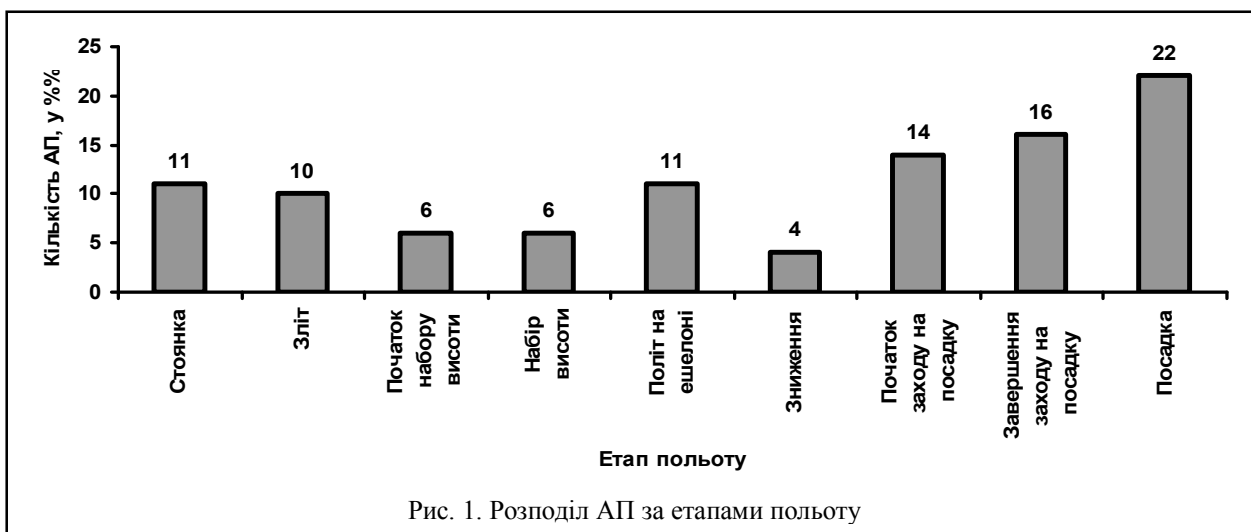


Рис. 1. Розподіл АП за етапами польоту

Запропоновано профілактичні заходи щодо виключення системних помилок.

В статті [16] сформульована задача дослідження факторної структури змінних, які описують поведінку системи “Екіпаж – ПС” на режимах зниження з висоти ешелону, вирівнювання, приземлення та пробігу літака. Розкрито зміст факторної моделі системи “Екіпаж – ПС” та вплив на безпеку польотів ефективності та надійності операторської діяльності льотного екіпажа.

**Метою статті є:**

1. Статистичний аналіз АП і інцидентів на етапі заходу на посадку та посадки ПС.
2. Класифікація основних причинних факторів помилок, які допускаються екіпажами ПС при виконанні заходу на посадку та при посадці.
3. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків ускладнення польотної ситуації при заході на посадку та посадці ПС.
4. Стохастичний мережевий аналіз розвитку польотних ситуацій при заході на посадку та посадці ПС.

### Виклад основного матеріалу

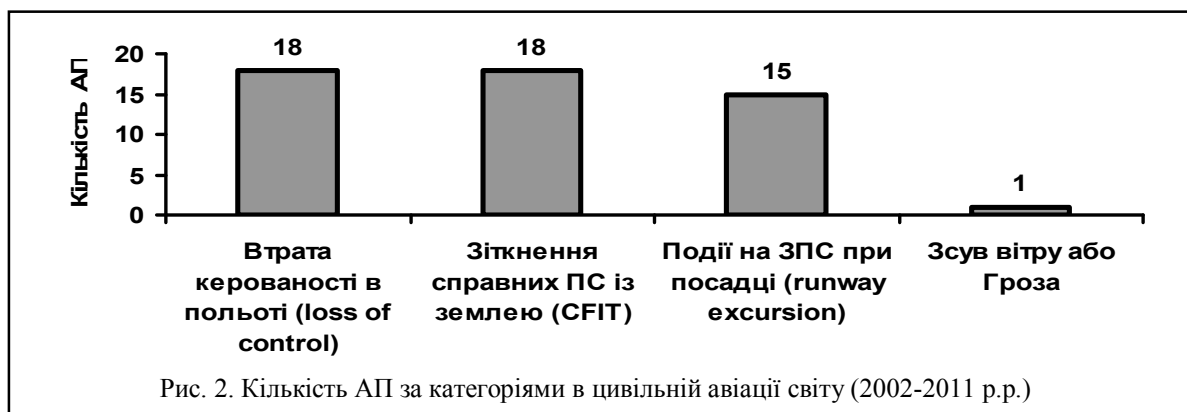
Захід на посадку і посадка ПС залишаються одними найбільш небезпечними ділянками польоту, в основному, внаслідок недостатку часу або висоти для того, щоб розібратися у виникаючих проблемах. За статистичними даними [2; 6; 7; 9] проведено групування наслідків, які ведуть до АП і інцидентів на етапі заходу на посадку та посадки ПС, визначено кількість АП за відповідними категоріями в цивільній авіації світу з 2002 по 2011 р.р. (рис. 2).

**Аналіз АП на етапі заходу на посадку та посадки ПС.** На основі статистичної інформації сайту Aviation Safety Network [10], проаналізовані АП та інциденти, що пов'язані з етапами заходу на посадку і посадки, які сталися під впливом несприятливих факторів. Так, однією з найбільш важких подій є катастрофа літака А310 F-OGYP авіакомпанії “Сибір” 9 липня 2006 року в аеропорту м. Іркутська, в якій загинуло 125 чоловік. Причиною катастрофи літака визначено помилкові дії екіпажу на етапі

пробігу після посадки в конфігурації літака з деактивованим реверсом тяги одного двигуна.

Аналіз АП та інцидентів показує, що вони не бувають наслідком однієї окремої причини. Зазвичай вони відбуваються в результаті взаємозв'язку декількох різних причин. Прикладом такого поєднання є подія 24 серпня 2008 року, катастрофа літака Boeing 737-219 киргизької авіакомпанії Itek Air, яка стала наслідком невиконання екіпажем вимог Інструкції по взаємодії і технології роботи членів екіпажа у польоті (Boeing 737-200 Standard Operating Procedures (SOP)). Екіпаж втратив контроль за висотою польоту при виконанні маневру для повторного заходу на посадку і не виконав команди системи попередження про наближення землі – Terrain awareness warning system (TAWS). Такі дії привели до зіткнення літака із землею, руйнування конструкції літака з наступною пожежею. В інших АП мало місце неправильне управління станом енергетичних характеристик ПС, що привело до їх надлишку або недостатку. Так, в події з ПС Boeing 737-3T5 оператора Southwest Airlines 5 березня 2000 року, екіпаж виконував політ з надмірно підвищеною швидкістю і кутом зниження під час заходу на посадку, КПС не було прийнято рішення про припинення заходу, при явній невідповідності параметрів руху ПС стабілізованому заходу. У екіпажа ПС не було інших варіантів як виконати маневр по відходу на друге коло, проте цього не було зроблено. В результаті посадка виконана з перельотом, ПС зійшло з ЗПС – викотилось на шосе та зруйнувалось після зіткнення з перешкодами.

Наступні АП пов'язані з виконанням грубих посадок, причинами яких, в багатьох випадках, являються відмова КПС виконати відхід на друге коло в зв'язку з відсутністю стабілізованого заходу на посадку. Так у міжнародному аеропорту Ньюарк, Нью-Джерсі (США) 31 липня 1997 року літак McDonnell Douglas MD-11F приземлився з вертикальною швидкістю 500 фут/хв і перевантаженням 1,67 одиниць, що привело до його відділення від ЗПС і ухиленню по курсу вправо. Наступне торкання ЗПС сталося з перевантаженням 1,7 од. (бічне



прискорення склало 0,4 од.) – внаслідок чого, праве крило зруйнувалося, MD-11 зійшов з ЗПС і зупинився у перевернутому положенні в 4800 футів від порогу ЗПС. Схожий випадок трапився 27 липня 2010 року з MD-11F оператора Lufthansa Cargo, у міжнародному аеропорту Ріядх-Кінг Кхалід, Саудівська Аравія. В результаті допущених помилок КПС допустив приземлення ПС з перевантаженням 2,1 од., після чого літак відокремився від ЗПС з наступним приземленням з перевантаженням 3,0 од., і знову відділився від ЗПС. Наступне перевантаження при приземленні перевищувало 4 од., після чого MD-11F зійшов із ЗПС, зруйнувався та загорівся.

Не поодинокі випадки приземлення літаків на заборонену для посадки ЗПС. 31 жовтня 1979 року DC-10-10 оператора Western Air Lines в аеропорту Мехіко Беніто Хуарес, Мексика. Замість вказаної для посадки робочої смуги 23R здійснив посадку на смугу 23L, на якій проводились ремонтні роботи. В результаті ПС отримало значних пошкоджень. Інший інцидент з літаком Boeing 737-2Y5 оператора Air Malta стався 20 жовтня 1993 року в аеропорту Лондон-Гатвік, Сполучене Королівство. Екіпаж помилково посадив літак вночі на руліжну доріжку.

**Аналіз АП, пов'язаних з посадкою в СМУ.** Статистикою Aviation Safety Network з 1945 по 2003 роки зафіксовано 16 випадків ураження ПС блискавкою, з них на етапі заходу на посадку 6 випадків, а на етапі посадки один. Так, 27 грудня 2002 року в аеропорту Анжуан-Оуані, Коморські острови, при заході на посадку в літак L-410UVP оператора Ocean Airlines вдарила блискавка, після чого вийшло з ладу приладове обладнання. При спробі відходу на друге коло управління було втрачене і літак розбився. Випадок ураження на етапі посадки трапився 4 грудня 2003 року з Dornier 228-202 оператора Kato Air, у аеропорту Бодо, Норвегія. Під час другої спроби посадки літак отримав серйозні пошкодження шасі та фюзеляжу.

Відома гучна катастрофа 10 квітня 2010 року, що сталася з президентським Ту-154М польських ВПС на аеродромі “Смоленськ-Північний” по причині зниження поза видимістю наземних орієнтирів до висоти, значно нижче встановленої керівником польотів, з метою переходу на візуальний політ та не реагування на неодноразове спрацювання системи попередження наближення землі (TAWS), що привело до зіткнення літака з перешкодами і землею в керованому польоті (CFIT), його руйнуванню і загибелі екіпажа і пасажирів. Визначені характеристики розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної за допомогою стохастичних мереж типу GERT (Graphical Evaluation and Review Technique). На основі рефлексивної теорії біполярного вибору отримані очікувані ризики прийняття рішень оператором при впливі соціально-психо-

логічних факторів на професійну діяльність в умовах розвитку польотної ситуації від нормальної до катастрофічної [29].

В рамках дослідження аеронавігаційної системи як складної соціотехнічної системи розроблено методологію аналізу прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи за допомогою стохастичних мереж [29].

Одне з найнебезпечних явищ погоди, по причині якого на сайті [10] зафіксовано 72 АП, є “зсув вітру” із-за якого 8 липня 1980 року на околиці Алма-Ати розбився Ту-154, на борту якого знаходилися 166 чоловік. 2 липня 1994 року потужний “зсув вітру”, що виник із-за грози в районі аеропорту Шарлотте, Північна Кароліна, США, став причиною катастрофи літака McDonnell Douglas DC-9-31 компанії “USAir” при відході на друге коло, в якій загинуло 37 з 57 осіб.

Статистичний аналіз причин АП і інцидентів свідчить, що більше 70 % [17] АП обумовлені виникненням у польоті сукупності несприятливих факторів. Всі фактори, що впливають на БП, можуть бути розділені на **внутрішньосистемні і позасистемні**. Під **внутрішньосистемними** розуміються такі фактори, які визначаються внутрішніми властивостями авіаційної транспортної системи (АТС), **нід позасистемними** – фактори зовнішнього середовища, не залежні від внутрішніх властивостей АТС [18; 19].

При розвитку подій, що призводять до АП, відбувається послідовне ускладнення ситуації у польоті внаслідок дії факторів, пов'язаних з діяльністю екіпажа, функціональною ефективністю ПС та умовами зовнішнього середовища. Виділяють три загальні групи факторів, що впливають на функціонування центральної ланки АТС, системи “Екіпаж – ПС” [17; 19; 20]:

- людський фактор;
- технічний фактор;
- фактор зовнішнього середовища.

В результаті аналізу АП та інцидентів з важкими літаками, на етапі заходу на посадку та посадки, проведено класифікацію причинних факторів та визначено долю АП за причинністю (табл. 1, 2) [14; 21; 22]. До інших причин АП, виявлених в ході роботи цільової групи ALAR фонду FSF слід віднести відходи на друге коло. У ситуаціях, коли був потрібний відхід на друге коло, лише 17% екіпажів приступали до його виконання, а 83% [22] продовжували заходити на посадку. У 57 % випадків таких АП і серйозних інцидентів пілотування здійснював безпосередньо КПС. У 20 % випадків це був другий пілот, у 9 % випадків це були пілоти одномісних літаків. Цікаво відмітити, що в усіх ситуаціях з пілотами одномісних літаків виникали АП по категорії CFIT (рис. 3).

Таблиця 1

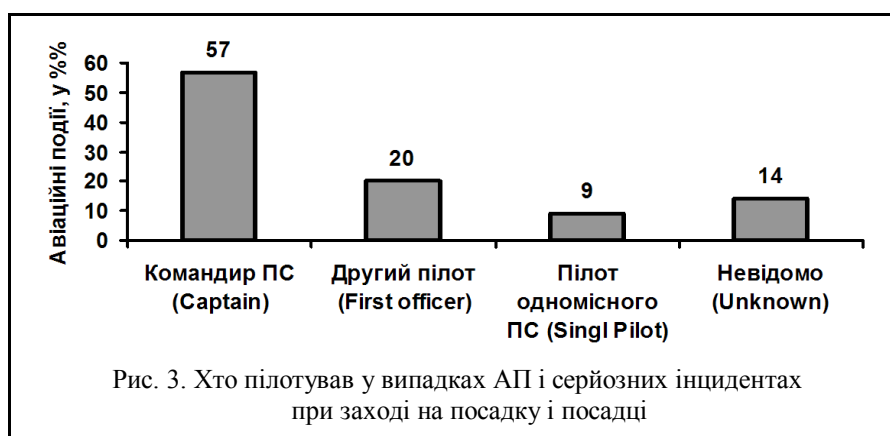
## Відсоток АП по причині внутрішньосистемних факторів

Причини	АП, %
Неадекватне використання екіпажами автоматизованих систем управління польотом	20
Використання наземних засобів що не відповідають вимогам (навігаційні засоби, вогні наближення/ЗПС або система візуального наведення по глісаді при заході на посадку)	21
Недостатня підготовка, досвід і/або кваліфікація для експлуатації даного ПС	22
Відсутність бортового обладнання по забезпеченню безпеки – системи попередження небезпечного зближення із землею (GPWS) або недоліки в роботі радіовисотоміра на ПС	29
Несталі режими заходу на посадку (перевищення висоти і/або швидкості при заході на посадку)	30
Неточні або неадекватні команди, рекомендації органів ОПП	33
Несталі режими заходу на посадку (ПС виконувало політ низько/повільно при заході на посадку)	36
Процедурні порушення (навмисні порушення стандартних правил польотів (SOPs)), включаючи відмову в передпосадковому інструктажі, інформування про повітряну швидкість і висоту та перевірку установки радіовисотоміра	40
“Поспішне прийняття рішень” – пов’язане з прийняттям неправильних рішень	42
Проблеми з пілотуванням – нездатність членів льотного екіпажа здійснювати політ ПС в заданих параметрах (повітряна швидкість, висота, швидкість зниження)	45
Відсутність інформації про умови польоту	47
Відсутність радіолокаційного обслуговування	50
Неправильна оцінка положення ПС, як правило, висоти	51
Невиконання правил CRM (координація між членами екіпажа, взаємоконтроль і взаємна підтримка)	63
Невиконання або неправильне виконання дій (ненавмисне відхилення від стандартних експлуатаційних правил (SOPs))	72
Неадекватна професійна оцінка ситуації і/або недостатня кваліфікація пілотів	74

Таблиця 2

## Відсоток АП обумовлених фактором зовнішнього середовища (environment)

Причини	АП, %
Стан ЗПС (викочування ПС з мокрих ЗПС або забруднених стоячою водою, сльотою, снігом або льодом)	18
Несприятливий вітровий режим (сильні бічні вітри, попутні вітри або зсув вітру)	33
Випадіння опадів (сніг, дощ)	50
Захід на посадку в темряві або у сутінках	53
Захід на посадку в метеоумовах польотів по приладах (ІМС)	59
Польоти над пагорбистою або гірською місцевістю с обмеженою видимістю	67
Захід на посадку в умовах обмеженої видимості або туману	70



Найбільший відсоток внутрішньосистемних причинних факторів АП та інцидентів складають помилки екіпажа окремо і у поєднанні з відхиленнями в роботі інших елементів АТС.

За даними сайту Plane Crash Info [23], встановлено, що дії пілотів стали причиною авіакатастроф в 50% випадків (1950 - 2009 рр); з помилками екіпажа пов’язано 76% кількості АП з літаками зльотною

вагою більше 10 т., а якщо виділити з усіх АП тільки важкі (катастрофи і події без жертв, після яких літак був списаний), то помилки льотного екіпажа складають до 86% [24].

Як видно проблеми по категорії СФІТ (зіткнення справних ПС із землею) і АП при заході на посадку і посадці АЛА пов'язані з проблемою людського фактора, а саме припущених помилок екіпажем під час виконання нормальних і аварійних процедур, та неправильне і несвоєчасне прийняття рішень при експлуатації сучасних ПС на етапі заходу на посадку і посадки.

Значною мірою ці помилки обумовлені особливостями існуючих систем відображення інформації (СВІ), орієнтованих на знаково-символьне представлення інформації та наступні логіко-аналітичні процеси її розпізнавання та прийняття рішення. При цьому "пропускна здатність" операторів ергатичних систем у нештатних ситуаціях, як і швидкість прийняття рішень, може бути недостатньою, що спричиняє неадекватні до розвитку ситуації рішення та помилкові дії екіпажа ПС. Неочевидність, "неінстинктивність" дій управління є додатковим джерелом помилок [25].

З узагальнених даних по співвідношенню причинних факторів АП можна припустити, що прийняття конструктивних заходів попередження помилок та усунення причин помилкових дій пілотів надасть найбільший ефект підвищення рівня БП [26]. Одним з можливих підходів до рішення цих проблем є формалізація і математичний опис діяльності операторів авіаційної ергатичної системи (АЕС) на основі системного аналізу за допомогою методу узагальнення неоднорідних факторів, що базується на теоретико-множинному підході, отримані графоаналітичні моделі прийняття рішень і прогнозування розвитку польотних ситуацій [28; 29].

Проведемо стохастичний мережевий аналіз розвитку польотних ситуацій при заході на посадку та посадці ПС.

Для дослідження впливу прийняття рішень ЛО на розвиток польотних ситуацій доцільно застосовувати стохастичні мережі типу GERT, які дозволяють моделювати розвиток польотних ситуацій в сторону ускладнення і навпаки. GERT є альтернативним імовірнісним методом мережевого планування, що застосовується у випадках організації діяльності, коли наступні дії можуть починатися після завершення тільки деякого числа з попередніх дій, тому допускає наявність циклів і петель [27 – 29]. При виникненні особливого випадку, моделювання дій авіаційного спеціаліста ускладнюється тим, що з'являються так звані, операційні процедури із зворотнім зв'язком (петлі), що в свою чергу означає, що кінцевий вузол такої операційної процедури повинен бути виконаним раніше її початкового вузла.

Розглянемо стохастичну мережеву модель GERT розвитку польотної ситуації  $G=(N;A)$  з множиною вузлів  $N$  і множиною дуг  $A$ . Час  $t_{ij}$  на перехід від  $i$ -ої до  $j$ -ої польотної ситуації є випадковою величиною. Перехід ( $i;j$ ) може бути виконаний, тільки якщо виконується  $i$ -ий вузол. Для визначення часу  $t_{ij}$  на перехід від  $i$ -ої до  $j$ -ої польотної ситуації, необхідно знати умовну ймовірність (в дискретному випадку) чи щільність розподілу (в безперервному випадку) випадкової величини  $Y_{ij}$ . Це дозволяє провести дослідження з виконання всієї мережі  $G=(N;A)$  та визначити моменти розподілу часу виконання  $t_{ij}$  мережі  $G$ , за допомогою яких можуть бути обчислені математичне очікування  $\mu_{jE}$  та дисперсія часу  $\delta^2$  виконання мережі  $G$  у разі виникнення ускладненої, складної, аварійної або катастрофічної ситуації.

Для визначення ймовірності настання конкретної події мережі –  $Q$ , математичного очікування –  $M[T]$  та дисперсії часу до появи події –  $D[T]$ , необхідно спростити початкову модель, шляхом об'єднання послідовних та паралельних контурів у єдину гілку з еквівалентними вихідними параметрами  $P_{ij}$ ,  $M_{ij}(S)$  та їх перетворенням  $W_{ij}^*(S)$  – коефіцієнтом пропускання динамічної системи.

Загальний вираз для передаточної функції мережі буде мати наступний вигляд:

$$Q = \sum_{i=1}^a \prod_{j=1}^{D_i} P_{ij} \leq 1$$

де  $a$  – кількість мінімальних пропускних сполучень всередині графа;

$D_i$  – кількість дуг, що з'єднують вузли графа в  $i$ -тому сполученні;

$P_{ij}$  – ймовірність передачі сигналу (переходу індикатора) між  $j$ -ми дугами графа в  $i$ -х сполученнях.

Для прикладу розглянемо катастрофу ПС Ту-134А RA-65021, що сталася на аеродромі Самара (Курумоч) при заході на посадку в умовах гірших метеорологічних мінімумів, які встановлено для аеродрому, повітряного судна та екіпажу. В результаті цієї катастрофи, з 50 людей, що знаходились на борту ПС, 6 осіб загинуло, 34 отримали травми різного ступеню важкості, ПС повністю зруйноване. Означимо події які сприяли виникненню даної катастрофи та визначимо причинно-наслідкові зв'язки між ними (табл. 3). Введемо такі умовні скорочення: повітряне судно – ПС, диспетчер – Д, екіпаж – Е, аеродром – а/д, злітно-посадкова смуга – ЗПС, ближній привід радіомаяка – БПРМ.

Побудуємо GERT мережу для даної катастрофи (рис. 4).

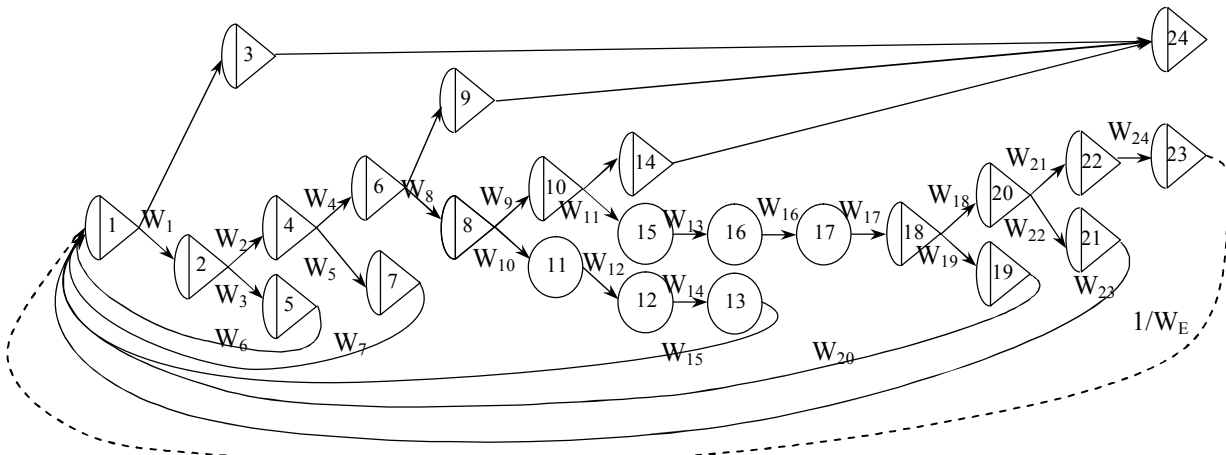


Рис. 4. GERT-мережа катастрофи Ту-134 А (17.03.07 а/п Курумоч)

Таблиця 3

Причинно-наслідкові зв'язки подій, що сприяли виникненню катастрофи

1	Політ проходить в нормальних умовах
1-2	Погіршилися метеоумови на а/д посадки
1-3	Метеоумови на аеродромі посадки не погіршувались
2-4	Технік-метеоролог не інформувала Д посадки про значення видимості 800 м
2-5	Технік-метеоролог інформувала Д посадки про значення видимості 800 м
4-6	Е не інформував Д про зайняття ешелону переходу 1800 м
4-7	Е інформував Д про зайняття ешелону переходу 1800 м
6-8	Видимість на робочій ЗПС-23 стала нижче мінімуму а/д і становила 608 м
6-9	видимість на а/д посадки не погіршувалась
8-10	Техніки-метеорологи не спостерігали погіршення видимості та не могли інформувати Д про це
8-11	Техніки-метеорологи спостерігали погіршення видимості
11-12	Техніки-метеорологи інформували Д про погіршення видимості
12-13	Д інформує Е про погіршення видимості
13-1	Е приймає рішення про відхід на запасний а/д
10-14	Випуск закрилків у посадкове положення було виконано за 2-3 км до входу у глісаду
10-15	Випуск закрилків у посадкове положення виконувалось в процесі зниження по глісаді
15-16	ПС вийшло вверх по глісаді
16-17	Д інформував Е про те, що ПС відхилилось від глісади за межі встановлених обмежень
17-18	Д дозволив посадку
18-19	Д додатково запросив у Е інформації про прийняте рішення, чим акцентував увагу Е на відхиленні ПС від глісади
18-20	Д додатково не запрошував у Е інформації про прийняте рішення
20-21	Д передав Е інформацію про вихід ПС за встановлені межі при прольоті БПРМ
20-22	Д не інформував Е про вихід ПС за встановлені межі при прольоті БПРМ
22-23	Катастрофа
14-24	Завершення польоту без жертв

Для розрахунку стохастичної мережі типу GERT введемо фіктивну дугу  $W_A$  і для кожної  $j$ -ої дуги визначимо коефіцієнти пропускання  $W_j$  ( $j = 1; 25$ ):

$$W_j(s) = P_j * M_j(s),$$

де  $P_j$  - ймовірність виконання дуги  $j$ , за умови, що виконаний вузол з якого вона виходить;

$M_j(s)$  – виробляюча функція (в нашому випадку показує розподіл часу прийняття  $j$  – рішення, виконання  $j$  - операції);

$L_i$  – петля;

$T(L_i)$  – еквівалент пропускання петлі  $L_i$ .

Визначимо для кожної петлі її еквівалент пропускання:

$$L_1: T_1 = W_1 W_5 W_6;$$

$$L_2: T_1 = W_1 W_2 W_5 W_7;$$

$$L_3: T_1 = W_1 W_2 W_4 W_8 W_{10} W_{12} W_{14} W_{15};$$

$$L_4: T_1 = W_1 W_2 W_4 W_8 W_9 W_{11} W_{13} W_{16} W_{17} W_{19} W_{20};$$

$$L_5: T_1 = W_1 W_2 W_4 W_8 W_9 W_{11} W_{13} W_{16} W_{17} W_{18} W_{21}$$

$W_{23};$

$$L_6: T_1 = W_1 W_2 W_4 W_8 W_9 W_{11} W_{13} W_{16} W_{17} W_{18} W_{21}$$

$W_{24} (1/W_E).$

Оскільки всі петлі першого порядку, то з топологічного рівняння Мейсона маємо:

$$H=1-L_1-L_2-L_3-L_4-L_5-L_6=0,$$

звідки

$$L_6=L_1+L_2+L_3+L_4+L_5-1.$$

Коефіцієнт пропускання фіктивної дуги:

$$W_E = \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot W_4 \cdot W_8 \cdot W_9 \cdot W_{11} \cdot W_{13} \cdot W_{16} \cdot W_{17} \cdot W_{18} \cdot W_{21} \cdot W_{24}}{T(L_1) + T(L_2) + T(L_3) + T(L_4) + T(L_5) - 1}.$$

Ймовірність настання події 23:

$$P=W_E(0).$$

Функція розподілу випадкової величини:

$$M_E = \frac{W_E(S)}{P}.$$

Знаючи функцію розподілу часу для кожної  $j$ -ої дуги мережі, можемо задати виробляючу функцію  $M_{Ej}(s)$ . Врахувавши, що  $P_j \cdot M_{Ej}(s) = W_j(s)$  та знайшовши першу і другу похідну виробляючої функції мережі (шляхом чисельного диференціювання), отримаємо моменти першого та другого порядків.

Таким чином отримуємо такі параметри, як ймовірність виконання вузла, математичне сподівання та дисперсію часу виконання вузла.

Застосування GERT-мереж для моделювання особливих випадків в польоті дозволяє аналізувати та прогнозувати розвиток особливого випадку в польоті, а також сприяє побудові адекватних моделей розвитку польотних ситуацій бази моделей системи підтримки прийняття рішень авіаційним спеціалістом.

## Висновки

1. На основі аналізу розподілу кількості АП та інцидентів за етапами польоту, встановлено, що при заході на посадку і посадці відбувається найбільша кількість АП з людськими жертвами. Згідно з статистичними даними при розподілі АП на вказаних етапах польоту, найбільша доля подій пов'язана з приземленням до початку ЗПС (CFIT), втратою керуваності (loss of control), викочуванням літака за межі ЗПС і убік з ЗПС (landing overrun), пошкодженням на ЗПС при посадці (runway excursion), заходом на посадку в нестабілізованому режимі (unstabilized approach).

2. За допомогою стохастичної мережі типу GERT виконано аналіз АП, що сталась з ПС Ту-134А RA-65021, на а/д Самара (Курумоч) при заході на посадку в умовах гірших метеорологічних мінімумів, які встановлено для аеродрому, ПС та екіпажу.

3. Для попередження помилок та усунення причин помилкових дій пілотів при експлуатації ПС на етапі заходу на посадку і посадки доцільно проводити розширені дослідження за напрямками:

- удосконалення систем підготовки льотно-го складу по роботі з системами літака на модульних стендах, комплексних тренажерах і в комп'ютерних класах, у тому числі застосування програм аналізу особливих ситуацій; відпрацювання програм демонстрації і навчання льотно-го складу методів

виведення літака із складного просторового положення і звалювання в реальних польотах;

- удосконалення методів стабілізації параметрів польоту при заході на посадку та проводити регулярні тренування на тренажерах по відпрацюванню стійких навичок відходу на друге коло;

- функціонального удосконалення систем кожного типу ПС для виключення можливих помилкових дій екіпажу при роботі з системами літака з урахуванням специфіки роботи систем; підвищення ефективності попереджуючої світлової та звукової сигналізації екіпажу про особливі ситуації, що виникли;

- впровадження системи інтелектуальної підтримки прийняття рішення з підказкою необхідних дій при виникненні особливих ситуацій на борту літака, одночасно із забезпеченням автоматичних систем парирования неправильних дій пілота або за відсутності необхідних дій;

- впровадження інтуїтивно-ергономічних функціональних СВІ нового типу, які дозволять виключити довготривалі логіко-аналітичні процеси розпізнавання знаково-символьної інформації та прискорять процес прийняття обґрунтованих рішень і виконання управляючих дій.

## Список літератури

1. *Aviation Accident Statistics [Electronic resource] / National Transportation Safety Board. – Mode of access: [www.ntsb.gov/aviation/aviation.htm](http://www.ntsb.gov/aviation/aviation.htm). – Last access: 2011. – Title from the screen.*
2. *Boeing. Commercial Airplanes [Електронний ресурс]: Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959 - 2010 – Режим доступу: <http://www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf>.*
3. *Гуленко В. Д. Новые модели причинности ошибок лётного состава и перспективы их применения в гражданской авиации // Проблемы безопасности полётов. – 2007. – № 9. – С. 53-65.*
4. *Безопасность полётов. Консультативно-аналитическое агентство [Електронний ресурс]: Авиакатастрофа в Карелии – Режим доступу: <http://www.aviasafety.ru/articles/rg20110621karelia>.*
5. *NASDAC Review of NTSB Weather-Related Accidents [Електронний ресурс]: Summary of Findings – Режим доступу: [http://www.asias.faa.gov/aviation\\_studies/weather\\_study/summary.html](http://www.asias.faa.gov/aviation_studies/weather_study/summary.html).*
6. *Безопасность полётов [Електронний ресурс]: Краткое содержание выступлений и докладов на 16-м европейском семинаре Всемирного Фонда Безопасности Полетов (FSF) 15-17.03, Барселона, Испания. – Режим доступу: <http://www.fsfi.avia.ru/news/news/1084436975.shtml>.*
7. *Flight Safety Foundation [Електронний ресурс]: Approach and Landing Accident Reduction (ALAR) – Режим доступу: <http://flightsafety.org/current-safety-initiatives/approach-and-landing-accident-reduction-alar>.*



8. *Flight Safety Foundation* [Електронний ресурс]: *Матеріали міжнародного семінара по скороченню кількості авіаційних проісшествій при заході на посадку і посадке (ALAR Tool Kit – Руководство по ALAR)*. Россия, Москва, 29-30 июля 2003 года – Режим доступу: [http://flightsafety.org/files/alar\\_ru.pdf](http://flightsafety.org/files/alar_ru.pdf).

9. Шелковников В. Почти неизвестный доКЛАД: “Убийцы в авиации” или Восемь принципов снижения количества авиационных проісшествій при заходе на посадку // *Воздушный транспорт*, – 2007. – № 8. – С. 11

10. *Aviation Safety Network* [Електронний ресурс]: *Safety issue list* – Режим доступу: <http://aviation-safety.net/database/events/event.php?code=LT>

11. Рисухин В. Н. Предотвращение ошибок экипажей ВС, связанных с невыполнением обязательных действий // *Вестник МНАПЧАК*. – 2005. – №2(18). – С. 39-43.

12. Плотников Н. И. Исследования ошибочной деятельности пилота // *Проблемы безопасности полётов*. – 2012. – № 3. – С. 17-23.

13. Козлов В. Ошибка пилота – это стрела, ранящая его душу и сердце // *Воздушный транспорт*. – 2007. – № 28. – С. 9.

14. Герасимов В. На предпосадочной прямой // *Воздушный флот*. – 2007. – № 19. – С. 11.

15. Козлов В. В. Почему самолеты приземляются на рулежные дорожки? // *Вестник МНАПЧАК*. – 2005. – №2(18). – С. 43-45.

16. Терёшкин А. А. Обеспечение безопасности полётов лётными экипажами транспортного самолёта на заключительных этапах полёта // *Проблемы безопасности полётов*. – 2008. – № 7. – С. 30-46.

17. Сакач Р. В. *Безопасность полетов: Учеб. для вузов / Сакач Р. В., Зубков Б. В., Давиденко М. Ф. и др.; Под ред. Р. В. Сакача*. – М.: Транспорт, 1989. – 239 с. – ISBN 5-277-00379-7.

18. Жулев В. И. *Безопасность полётов летательных аппаратов: теория и анализ / В. И. Жулев, В. С. Иванов*. – М.: Транспорт, 1986. – 224 с. – ISBN –

19. Коваленко Г. В. *Лётная эксплуатация: учеб. пособие для вузов гражданской авиации / Г. В. Коваленко, А. Л. Микинелов, В. Е. Чепига; под ред. Г. В. Коваленко*. – М.: Машиностроение, 2007. – 416 с. – ISBN 978-5-217-03401-7

20. Баясников В. В. *Обеспечение безопасности полётов в гражданской авиации. Теоретические аспекты*

*безопасности полетов: учеб. пособие / В. В. Баясников, А. Г. Кальченко*. – Ленинград: ОЛАГА, 1988. – 80 с.

21. *Матеріали міжнародного семінара по скороченню кількості авіаційних проісшествій при заході на посадку і посадке. Возможные опасности при заходе на посадку // Проблемы безопасности полётов*. – 2006. – № 2. – С. 3-42.

22. Лейченко С. Д. *Человеческий фактор в авиации: моногр. в 2-х книгах. Кн. 1. / Лейченко С. Д., Малишевский А. В., Михайлик Н. Ф.*. – СПб – Кировоград: “КОД”, 2006. – 480 с. – ISBN 966-8264-62-2.

23. *Accident statistics* [Електронний ресурс]: *Statistics* – Режим доступу: <http://www.planecrashinfo.com/cause.htm>

24. Кофман В. Д. *Анализ авиационных проісшествій при заходе на посадку и посадке (ALAR) в государствах-участниках соглашения / В. Д. Кофман, И. К. Мулкиджанов, В. А. Полтавец // Проблемы безопасности полётов*. – 2012. – № 3. – С. 17-23.

25. Ковальов Ю. М. *Інтуїтивні системи відображення інформації у авіації / Ю.М.Ковальов, Т.Ф. Шмельова // Міжнародна науково-практична конференція “Аеропорти – вікно в майбутнє”. 15-16 червня 2012 р. Збірник тез. Київ: ЦП КОМПРИНТ, 2012.-С.59-60 0,25/0,125*

26. *Фундаментальные концепции человеческого фактора [Текст]: сб. матер. / Международная организация гражданской авиации*. – Вып. 1. – Circ. 216-AN/131. – Канада, Монреаль, ICAO, 1989. – 37 с.

27. Филлипс Д. *Методы анализа сетей: Пер. с англ. / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас*. – М.: Мир, 1984. – 496 с.

28. Шмельова Т.Ф. *Експертний метод визначення часових характеристик при виникненні особливого випадку в польоті / Т.Ф.Шмельова, О.П. Бондар, І.Л. Якуніна // Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал*. 2011. – № 1(25). – С. 175-179.

29. *Kharchenko V.P. Methodology for Analysis of Decision Making in Air Navigation System / V.P. Kharchenko, T.F. Shmelova, Y.V. Sikirda // Proceedings of the National Aviation University*. – 2011. – №3. – P. 85-94.

Надійшла до редколегії 18.02.2014

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук проф. В.Ф. Гамалій, Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград.

## СТОХАСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ПОЛЕТНОЙ СИТУАЦИИ НА ЭТАПАХ ЗАХОДА НА ПОСАДКУ И ПОСАДКЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Т.Ф. Шмелева, В.В. Шишаков, И.Л. Якунина

Статья посвящена анализу факторов и определению причинно-следственных связей в цепи развития аварийной ситуации, анализу явлений, которые последовательно усложняют полетную ситуацию и в результате приводят к авиационным проісшествиям в процессе захода на посадку и посадке. Анализ осуществлён на основе обзора связанных с этой проблемой авиационных проісшествій и инцидентов, которые имели место с парком самолётов мира за продолжительный период эксплуатации с 1959-2011 годы. Дан стохастический анализ развития аварийной ситуации.

**Ключевые слова:** безопасность полётов, авиационные проісшествия при заходе на посадку и посадке, причинные факторы авиационных проісшествій, ошибки экипажа, человек-оператор, особая ситуация.

## STOCHASTIC ANALYSIS OF FLIGHT SITUATION ON APPROACH AND LANDING STAGES OF AIRCRAFT

T.F. Shmelova, V.V. Shyshakov, I.L. Yakunina

Article is devoted to the analysis of factors and definition of relationships of cause and effect in a circuit of consecutive complex events during progress of the negative phenomena which consistently complicate a situation and as a result lead to negative incidents during landing approach and landing. The analysis is carried out on the basis of the review of the aviation accidents connected with this problem and incidents which took place with park of planes of the world for long period of operation about 1959-2011.

**Keywords:** safety of flights, aviation accidents at landing approach and landing, causal factors of aviation accidents, crew mistakes, the person-operator, a special situation.