

DOI: 10.18372/2310-5461.47.14933

УДК: 629.735.33:656.052.7(045)

А. В. Полухін, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0001-5915-7799
e-mail: pav@nau.edu.ua

Д. Ю. Закалата
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0003-3387-7397
e-mail: zakalata1998@gmail.com

В. Ляховський
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-6471-7102
e-mail: vasilios.bober@gmail.com

ПРО ВПЛИВ ЗАВАД У СИГНАЛІ КУРСОВОЇ РАДІОМАЯКОВОЇ СИСТЕМИ НА ТОЧНІСТЬ АВТОМАТИЧНОГО ЗАХОДУ ЛІТАКА НА ПОСАДКУ

Вступ

Авіаційний транспорт, який з початку свого зародження знаходиться на вістрі науково-технічного прогресу, відіграє важливу роль одного з рушіїв економічного та соціального розвитку в усьому світі. Нині міжнародна авіатransпортна сфера, у якій налічується 65,5 млн працівників, забезпечує в світі перевезення понад 4 млрд пасажирів на рік і вносить до глобального валового внутрішнього продукту 2,7 трлн дол. США [1].

Зростання економіки, у першу чергу, розвинених країн та міжнародного ринку праці, активізація туризму через покращення купівельної спроможності громадян, а також підвищення рівня безпеки польотів викликає збільшення пасажиропотоку на авіаційному транспорті.

Зокрема, у 2018 році в Європейському Союзі (ЄС) повітряним транспортом скористалися 1,1 млрд пасажирів, що більше на 6 % порівняно з 2017 роком і на 43 % порівняно з 2010 роком. У 2018 році найбільше авіапасажирів було зафіксовано у Великій Британії (272 млн), Німеччині (222 млн), Іспанії (221 млн), Франції (162 млн) та Італії (153 млн). Найбільш завантаженими аеропортами ЄС є лондонській «Хітроу», крізь який пройшли 80 млн пасажирів, паризький аеропорт імені Шарля де Голля (72 млн) та амстердамський «Схіпхол» (71 млн) [2].

В Україні впродовж 2019 року пасажирські та вантажні перевезення здійснювали 29 вітчизняних авіакомпаній, якими загалом виконано 103,3 тис. комерційних рейсів (за 2018 рік — 100,2 тис. рейсів). За статистичними даними кількість пасажирів, що скористались послугами українських авіакомпаній, збільшилась за рік на 9,4 % та склала у 2019 році 13705,8 тис. осіб.

Загалом комерційні рейси вітчизняних та іноземних авіакомпаній у 2019 році обслуговували 19 українських аеропортів та аеродромів.

Кількість відправлених та прибулих повітряних суден упродовж року склала 201,2 тис. (проти 182,8 тис. за попередній рік). При цьому пасажиропотоки через аеропорти України зросли на 18,4 % та досягли 24334,5 тис. осіб. Вантажопотоки збільшились на 6,7 % та склали 60,2 тис. тонн. Зростання кількості обслугованих пасажирів порівняно з 2018 роком зафіксовано в наступних аеропортах: Харків — на 39,4 %, Львів — на 38,8 %, Бориспіль — на 21,1 %, Дніпропетровськ — на 13,2%, Одеса — на 17,1% та Запоріжжя — на 8,4 %. Лише в аеропорту Київ (Жуляни) мало місце скорочення пасажиропотоку на 6,9 % [3].

Збільшення пасажиро- та вантажопотоків на світовому авіаційному транспорті, а відтак і кількості повітряних суден, що одночасно перебувають у повітрі, потребує підвищення вимог до забезпечення безпеки польотів, особливо, в зонах зльоту, заходу на посадку та при посадці, які характеризуються найбільшою кількістю інцидентів, у тому числі, з людськими жертвами [4].

Постановка проблеми та її актуальність

Існують декілька підходів до визначення поняття «безпека польотів». Зокрема, Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО) визначає, що безпека польотів — це стан, за якого ризики, пов'язані з авіаційною діяльністю, яка відноситься до експлуатації повітряних суден або безпосередньо забезпечує таку експлуатацію, знижені до прийнятного рівня та контролюються [5].

Забезпечення високого рівня безпеки польотів є складною та багатогранною проблемою, тому

що її вирішення залежить від багатьох чинників. Адже виконання польотів здійснюється за участі великої кількості багатопрофільного авіаційного персоналу, повітряних суден та наземної авіаційної техніки в широкому діапазоні погодних та кліматичних умов.

Одним із найважливіших чинників, що істотно впливає на рівень безпеки польотів, є так званий *технічний чинник*, який характеризує здатність бортових та наземних систем виконувати покладені на них функції відповідно до вимог нормативних документів [6].

Значимо, що для забезпечення виходу літака в площину посадкового курсу при інструментальному заході на посадку в зоні четвертого розвороту на сьогодні найчастіше використовується курсова радіомаякова система. До її складу входить наземний курсовий радіомаяк (КРМ) та різноманітне бортове обладнання, зокрема, курсовий радіоприймач (КРП).

У реальних умовах експлуатації під час автоматичного заходу літака на посадку за сигналом КРМ на точність його виходу в площину посадкового курсу та точність руху в цій площині, впливають багато чинників, серед яких — атмосферні збурення, статичні та динамічні завади в тракті КРМ-КРП тощо.

При цьому, якщо вплив атмосферних збурень на точність заходу літака на посадку за сигналами КРМ досліджений достатньо повно (зокрема, у праці [7] досліджено вплив одного з найнебезпечніших атмосферних явищ — горизонтального зсуву бічного вітру), то вплив завад в тракті КРМ-КРП на точність заходу літака на посадку досліджений, на наш погляд, недостатньо.

З наведеного випливає, що дослідження впливу завад у тракті КРМ-КРП на точність автоматичного заходу літака на посадку, як одного з важливих чинників забезпечення безпеки польотів, є важливим та актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню проблеми безпеки польотів, впливу на її рівень різноманітних чинників та шляхів його підвищення в реальних умовах експлуатації авіаційної техніки присвятили свої праці українські та закордонні дослідники: Белгородський С., Давиденко М., Данилов Б., Доброленський Ю., Жулев В., Зубков Б., Сакач Р., Сивков Г., Смуров М., Яцков М. та ін.

У цих працях зазначені й інші дослідники, вони розглядають різноманітні теоретичні та практичні аспекти забезпечення безпеки польотів та їх взаємозв'язок.

Проте деякі аспекти технічного чиннику впливу на рівень безпеки польотів, зокрема,

впливу завад у сигналах радіомаякових систем заходу літаків на посадку, на наш погляд, потребують подальших досліджень.

Мета статті

Метою даної статті є дослідження впливу динамічних низькочастотних та високочастотних завад у сигналі курсової радіомаякової системи на точність автоматичного заходу літака на посадку, а звідси — на безпеку польотів.

Викладення основного матеріалу

Безперервне зростання інтенсивності та щільності повітряного руху викликає необхідність збільшення пропускної здатності повітряного простору та його оптимального використання, особливо, в районі аеропортів. Ця обставина та достатньо висока точність сучасних навігаційних систем зумовили появу концепції RNP (Required Navigation Performance — потрібні навігаційні характеристики). RNP визначає характеристики засобів навігації та стан повітряного простору в межах його певної зони за допомогою показників точності витримання навігаційних параметрів, які повинні забезпечуватися в межах цієї зони повітряного простору [8].

Вище було зазначено, що найбільш низьким рівнем безпеки польотів характеризуються етапи заходу на посадку та посадки, тому що вони є найскладнішими етапами польоту через поєднання в просторі та часі таких чинників, як суттєві зміни швидкості, висоти, курсу літака, режимів роботи його двигунів, конфігурації тощо в умовах дефіциту часу на аналіз ситуації, яка швидко змінюється, і прийняття правильних рішень щодо управління літаком.

Місця розташування курсових радіомаяків, які забезпечують захід літаків на посадку та їх вихід у площину посадкового курсу, відносно злітно-посадкової смуги (ЗПС), вимоги до їх зон випромінювання та деякі важливі характеристики для певних точок, визначених відносно ЗПС, встановлюються нормативними документами [9].

Зокрема, при автоматичному заході літака на посадку за сигналом курсового КРМ за II категорією ІКАО процес його виходу в площину посадкового курсу (рівносигнальної зони КРМ) повинен бути близьким до аперіодичного з одним перерегулюванням, що не перевищує в безвітряну погоду по вихідному струму КРП величини $\pm 42 \mu\text{A}$; в усіх випадках перехідний процес повинен закінчуватися до початку процесу «захвату» глісади, причому, процес вважається закінченим, якщо вихідний струм КРП увійшов у «трубку», що дорівнює $\pm 35 \mu\text{A}$ і продовжує залишатися в межах цієї «трубки» з

імовірністю 95 % аж до висоти прийняття рішення. Виконання наведених вимог повинно забезпечувати за відсутності вітру максимальне середньоквадратичне бічне відхилення літака від рівносигнальної зони КРМ над порогом ЗПС — не більше (2,3...2,6) м, а максимальне бічне відхилення у момент його приземлення на ЗПС — не більше ± 5 м [8; 10].

Тут і далі величина струму на виході КРП указується для випадку, коли межі лінійної зони струму на виході КРП відповідають величині ± 250 μ А.

Як було зазначено вище, у реальних умовах експлуатації під час автоматичного заходу літака на посадку за сигналом КРМ на точність його виходу в площину посадкового курсу та точність руху в цій площині, впливають, зокрема, статичні та динамічні завади в тракті КРМ-КРП, викликані багатьма чинниками, природа яких докладно розглянута у працях [9; 10; 11].

Зазначені завади викликають викривлення рівносигнальної зони КРМ і флуктуації струму на виході КРП під час руху літака в зоні дії КРМ, а звідси й флуктуації керуючого сигналу. При цьому, якщо при заході літака на посадку в режимі штурвального управління пілот на підставі власного досвіду та наявних знань, умінь, навичок та інших компетентностей піддає логічному «фільтруванню» ці флуктуації і реагує лише на сигнали, величина яких вище порогу сприйняття його органами чуттів, як правило, дискретно, то в режимі автоматичного управління вони безперервно «відпрацьовуються» системою автоматичного управління, що викликає «розгойдування» літака по кутових та лінійних параметрах польоту з усіма наслідками, які з цього випливають.

Тому налаштування курсових радіомаяків та бортового посадкового обладнання літаків здійснюється таким чином, щоб при заході на посадку за категоріями II і III відхилення параметрів польоту внаслідок викривлення рівносигнальної зони КРМ не повинні перевищувати з імовірністю 95 % на ділянці між точкою «В» та опорною точкою ILS (для категорії II) або точкою «D» (для категорії III) по кутові крену — величину 2° , а по лінійному бічному зміщенню — величину 5 м (15 фут) [9].

З метою забезпечення наведених вище вимог до точності автоматичного заходу літака на посадку за сигналом КРМ за категоріями II і III нормативними документами встановлені такі граничні значення амплітуди (різності глибини модуляції — РГМ) викривлення рівносигнальної зони КРМ з імовірністю 95 %: від зовнішньої межі зони дії КРМ до точки «А» — 0,031; від

точки «А» до точки «В» — 0,031 у точці «А», зменшуючись за лінійним законом до величини 0,005 у точці «В»; від точки «В» до опорної точки — 0,005; лише для категорії III: від опорної точки до точки «D», від точки «D» до точки «E» — 0,005 у точці «D», збільшуючись за лінійним законом до величини 0,010 в точці «E» [9].

Для проведення дослідження впливу низькочастотних та високочастотних завад у тракті КРМ-КРП курсової радіомаякової системи на точність автоматичного заходу літака на посадку і досягнення зазначеної вище мети досліджень авторами статті розроблена відповідна цифрова математична модель.

Розроблена модель дозволяє дослідити процеси автоматично керованого виходу літака в площину посадкового курсу та точність руху в цій площині до досягнення порогу ЗПС при дії (або без) зазначених вище динамічних низькочастотних та високочастотних завад у тракті КРМ-КРП. При цьому вважається, що статичні завади є незначними та не беруться до уваги.

У розробленій моделі передбачена можливість проведення досліджень при різних початкових значеннях відстані літака від порогу ЗПС вздовж площини посадкового курсу та його бічного відхилення від неї при різних початкових значеннях курсу в діапазоні від 0° до 360° , а також при значеннях крутизни сигналу тракту КРМ-КРП у діапазоні від мінімальної до максимальної.

Беручи до уваги незалежність рівносигнальних зон курсового та глісидного радіомаяків, а також те, що в процесі заходу літака на посадку за сигналом КРМ параметри польоту змінюються в незначних діапазонах (за винятком курсу, який для моделі динаміки польоту є зовнішнім параметром), автори статті вважають за доцільне використовувати математичну модель динаміки руху літака в бічній площині у вигляді наведеної нижче системи лінеаризованих диференціальних рівнянь із «замороженими» коефіцієнтами з позначеннями параметрів польоту відповідно до вимог діючого стандарту [10; 11]:

$$\dot{\bar{\psi}} = -a_1\dot{\psi} - b_6\dot{\gamma} - a_2\beta_k - b_5\delta_n;$$

$$\dot{\bar{\psi}} = -a_6\dot{\psi} - b_1\dot{\gamma} - b_2\beta_k - a_2\delta_n - b_5\delta_b;$$

$$\dot{\beta} = \dot{\psi} + b_7\dot{\gamma} + b_4\dot{\gamma} - a_4\beta_k - a_7\delta_n;$$

$$\beta_b = \beta + \beta_w;$$

$$\beta_w = -\arctg\left(\frac{W_z}{V}\right);$$

$$\psi_r = -\psi;$$

$$\dot{Z} = V_k \sin(\psi_r + \beta).$$

При цьому закон автоматичного управління САУ при заході на посадку за сигналом КРМ розглядається в нелінійній постановці.

Результати досліджень роботи посадкових радіомаякових систем показують, що присутні в їх сигналах динамічні низькочастотні та високочастотні завади становлять собою стаціонарні гаусівські стохастичні процеси з нульовим математичним сподіванням та зі спектральними щільностями вигляду [12; 13]:

$$S_{н.в}(\omega) = 2\alpha_{н.в} \sigma_{н.в}^2 / (\alpha_{н.в}^2 + \omega^2);$$

$$\alpha_{н.в} = 1/T_{н.в},$$

де $S_{н.в}(\omega)$ — спектральні щільності; $\sigma_{н.в}$ — середньоквадратичні значення інтенсивності; $T_{н.в}$ — сталі часу, відповідно, низькочастотної (з індексом «н») та високочастотної (з індексом «в») завад.

Звідси випливає, що математичні моделі низькочастотних та високочастотних завад в тракці КРМ-КРП мають вигляд стохастичних лінійних диференціальних рівнянь першого порядку, на вхід яких подаються сигнали стаціонарного гаусівського «білого шуму» з нульовим математичним сподіванням та відповідною дисперсією.

Авторами статті при розробленні математичних моделей завад з метою їх спрощення було прийнято, що середньоквадратичні величини інтенсивності низькочастотної та високочастотної завад є рівними між собою.

При проведенні досліджень процесу заходу середньомагістрального літака на посадку за сигналом курсової радіомаякової системи були прийняті такі вихідні значення його параметрів польоту: польотна вага — 80 т; центровка — 24 % САХ; задана висота кола — 500 м; задана приладова швидкість на висоті кола — 280 км/год, на глісаді — 270 км/год; кут нахилу глісади — 3°; крутизна сигналу тракту КРМ-КРП — $S_k = (69...246) \mu\text{А/град}$; початкова відстань літака до порогу ЗПС уздовж її осі — 18 км; вихід літака в площину посадкового курсу, що дорівнює 0°, здійснюється в зоні четвертого розвороту з початковим курсом 90° та заданим початковим бічним відхиленням; атмосферні збурення відсутні.

Результати дослідження динамічної подібності розробленої цифрової математичної моделі динаміки польоту літака і реального об'єкту шляхом порівняльного аналізу динамічних та статичних пілотажних характеристик, отриманих на моделі та на реальному об'єкті під час його льотних випробувань, засвідчили їх велику динамічну подібність і підтвердили можливість ви-

користання розробленої моделі для проведення основних досліджень.

Нижче наведено результати досліджень автоматичного заходу літака на посадку за сигналом КРМ, отримані за різних умов.

На рис. 1–3 наведено графічні залежності зміни бічного відхилення літака від рівносигнальної зони КРМ (вісь ординат, км) при його початковому бічному відхиленні 3 км від відстані літака до порогу ЗПС (вісь абсцис, км) при його заході на посадку при різних значеннях крутизни сигналу тракту КРМ-КРП за відсутності завад у сигналі курсової радіомаякової системи.

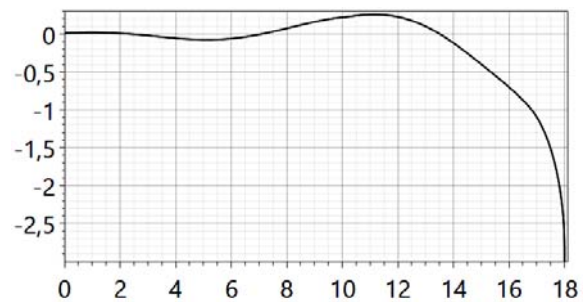


Рис. 1. Захід літака на посадку за сигналом КРМ за відсутності завад ($S_k = 69 \mu\text{А/град}$)

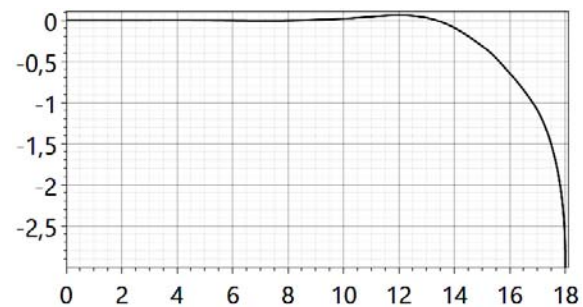


Рис. 2. Захід літака на посадку за сигналом КРМ за відсутності завад ($S_k = 157 \mu\text{А/град}$)

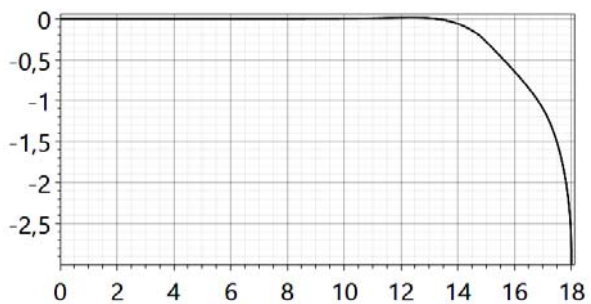


Рис. 3. Захід літака на посадку за сигналом КРМ за відсутності завад ($S_k = 246 \mu\text{А/град}$)

Аналіз наведених на рис. 1–3 результатів моделювання показує, що за відсутності завад у сигналі курсової радіомаякової системи точність виходу літака в площину посадкового курсу та стабілізації його в автоматичному режимі відповідають нормативним вимогам практично у всьому діапазоні можливого експлуатаційного

значення крутизни сигналу тракту КРМ-КРП із значним запасом, окрім мінімального значення крутизни, що дорівнює $69 \mu\text{A}/\text{град}$.

Зокрема, процес виходу літака в площину посадкового курсу та стабілізації його на ній при мінімальній крутизні $S_k = 69 \mu\text{A}/\text{град}$ (див. рис. 1) має коливальний характер з максимальним перерегулюванням по струму КРП $+67,3 \mu\text{A}$, що перевищує встановлене нормативними документами значення, хоча після «захвату» глісади величина струму КРП входить у «трубку» $\pm 35 \mu\text{A}$ і залишається в ній до досягнення порогу ЗПС.

Процеси виходу літака в площину посадкового курсу та стабілізації його на ній при середньому $S_k = 157 \mu\text{A}/\text{град}$ та максимальному $S_k = 246 \mu\text{A}/\text{град}$ значеннях крутизни є близькими до аперіодичних з одним перерегулюванням, яке відповідає максимальному струму на виході КРП $+35,5 \mu\text{A}$ при $S_k = 157 \mu\text{A}/\text{град}$ (див. рис. 2) та $+11,5 \mu\text{A}$ при $S_k = 246 \mu\text{A}/\text{град}$ (див. рис. 3). Усі ці значення струму не перевищують допустимих із значним запасом.

При дослідженні впливу на точність автоматичного заходу літака на посадку стохастичних низькочастотних та високочастотних завад у сигналі тракту КРМ-КРП авторами статті було проведено моделювання понад 30 заходів літака на посадку, тобто була сформована вибірка достатньо великого обсягу, що дозволяє вважати її репрезентативною [14; 15].

На рис. 4–6 наведено результати дослідження впливу стохастичних низькочастотних та високочастотних завад у сигналі тракту КРМ-КРП на точність одного із 30 змодельованих заходів літака на посадку на заключній ділянці руху літака в площині посадкового курсу, починаючи з відстані 3000 м до порогу ЗПС, при номінальному значенні крутизни сигналу тракту КРМ-КРП $S_k = 157 \mu\text{A}/\text{град}$.

На рис. 4 наведено графічну залежність зміни бічного відхилення літака відносно площини посадкового курсу (вісь ординат, м) від відстані літака до порогу ЗПС (вісь абсцис, м).

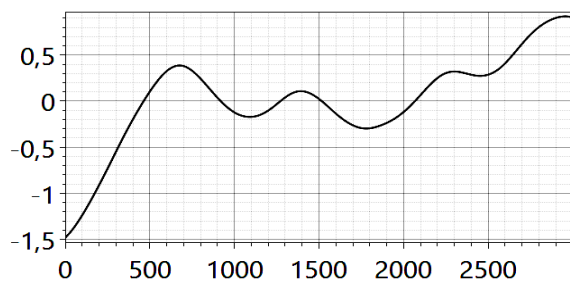


Рис. 4. Зміна бічного відхилення літака відносно площини посадкового курсу в умовах дії завад максимальної інтенсивності ($S_k = 157 \mu\text{A}/\text{град}$)

На рис. 5 наведена залежність зміни кута крену (вісь ординат, град), на рис. 6 — курсу (вісь

ординат, град) від відстані літака до порогу ЗПС (вісь абсцис, м).

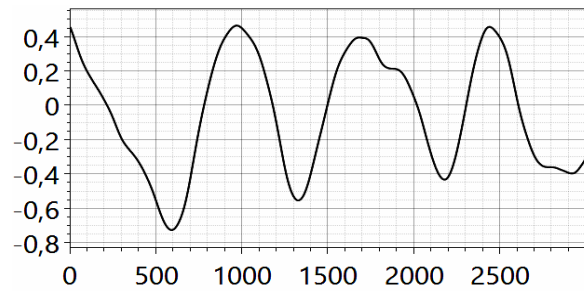


Рис. 5. Зміна кута крену літака в умовах дії завад максимальної інтенсивності ($S_k = 157 \mu\text{A}/\text{град}$)

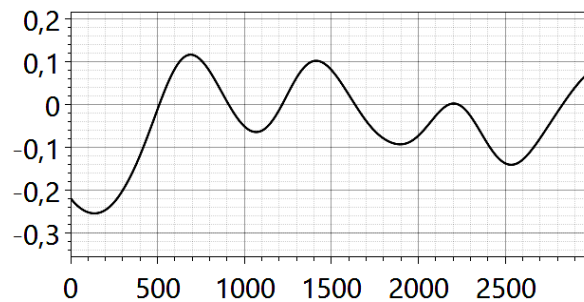


Рис. 6. Зміна курсу літака в умовах дії завад максимальної інтенсивності ($S_k = 157 \mu\text{A}/\text{град}$)

Результати досліджень показують, що низькочастотні та високочастотні завади у сигналі курсової радіомаякової системи незначно впливають на траєкторні параметри руху літака, викликаючи, зокрема, з імовірністю 95 % його «розгойдування» з максимальним бічним відхиленням від площини посадкового курсу на ділянці між точкою «В» та опорною точкою не більше 1,5 м, що значно менше допустимого значення.

Водночас має місце також незначне «розгойдування» літака за кутами крену та курсу, амплітуди яких збільшується по мірі його наближення до КРМ, досягаючи з імовірністю 95 % величин, відповідно $-0,7^\circ$ та $-0,25^\circ$.

Проте зазначені вище амплітуди не перевищують максимально допустимих значень, встановлених нормативними документами.

Висновки

Збільшення пасажиропотоку на авіаційному транспорті, а відтак і кількості повітряних суден, що одночасно перебувають у повітрі, потребує підвищення вимог до забезпечення безпеки польотів, особливо, в зонах зльоту, заходу на посадку та посадки, які характеризуються найбільшою кількістю інцидентів, у тому числі, з людськими жертвами.

Значний вплив на можливість успішного завершення польоту літака оказує у процесі заходу літака на посадку за сигналом КРМ, зокрема, точність його виходу в площину посадкового курсу та стабілізації в цій площині з погляду на те, що сигнал курсової радіомаякової системи, яка забезпечує захід на посадку, містить статичні та динамічні завади.

Для проведення дослідження впливу низькочастотних та високочастотних завад у тракті КРМ-КРП курсової радіомаякової системи на точність автоматичного заходу літака на посадку і досягнення зазначеної вище мети досліджень авторами статті розроблена відповідна цифрова математична модель.

Розроблена модель дозволяє дослідити процеси виходу літака в площину посадкового курсу та точність руху в цій площині в режимі автоматичного управління до досягнення порогу ЗПС в умовах відсутності або дії зазначених вище динамічних низькочастотних та високочастотних завад у тракті КРМ-КРП. При цьому вважається, що статичні завади відсутні.

Проведено дослідження впливу на точність автоматичного заходу літака на посадку динамічних низькочастотних та високочастотних завад у сигналі курсової радіомаякової системи максимальної інтенсивності, передбаченої нормативними документами.

Зазначені завади викликають викривлення рівносигнальної зони КРМ і флуктуації струму на виході КРП під час руху літака в зоні дії КРМ. При цьому, якщо при заході літака на посадку в режимі штурвального управління пілот піддає логічному «фільтруванню» ці завади і реагує лише на сигнали, величина яких вище порогу сприйняття його органами чуттів, то в режимі автоматичного управління вони безперервно «відпрацьовуються» системою автоматичного управління, що призводить до «розгойдування» літака по кутових та лінійних параметрах польоту, що підтверджується результатами проведених досліджень.

Показано, що низькочастотні та високочастотні завади у сигналі курсової радіомаякової системи максимальної інтенсивності оказують незначний вплив на параметри польоту літаків режимі автоматичного управління, хоча викликають його «розгойдування» за лінійним бічним відхиленням відносно площини посадкового курсу та кутами крену та курсу з амплітудами, які збільшуються в міру наближення літака до курсового радіомаяка, залишаючись у межах допустимих нормативними документами значень.

Водночас отримані результати свідчать про те, що автоматичний захід літака на посадку при

крутизні сигналу тракту КРМ-КРП в області мінімальних значень потребує додаткових досліджень з метою опрацювання певних рекомендацій щодо виконання заходу на посадку в таких умовах через надмірну коливальність перехідного процесу при виході літака в площину посадкового курсу.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Укрінформ**. URL: <https://www.ukrinform.ru/rubric-world/2833131-segodna-mezhdunarodnyj-den-grazhdanskoj-aviacii.html> (Дата звернення 21.02.2020).
2. **Eurostat**. Airpassengertransportinthe EU. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-press-releases/-/7-06122019-AP> (Дата звернення 11.11.2019).
3. **Звіт** Голови Державної авіаційної служби України за 2019 рік. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit_2019/zvit-2019-avia.pdf (Дата звернення 07.03.2020).
4. **Statistics**. CausesofFatalAccidents. FatalitiesbyPhaseofFlight. URL: <http://www.planecrashinfo.com/cause.htm> (Lastaccessed 11.11.2019).
5. **Управление** безопасность юполетов. Приложение 19 к Конвенции о международнойгражданскойавиации. Изданиевторое, июль 2016 года. Монреаль: ИКАО. 2016. 48 с. URL: <http://caa.gov.by/uploads/files/ICAO-Pr19-ru-izd-2-2016.pdf> (Дата звернення 25.11.2019).
6. **Безопасность** полетов: учебник для вузов. Р. В. Сакач, Б. В. Зубков, М. Ф. Давиденко и др.: под ред. Р. В. Сакача. Москва: Транспорт, 1989. 239 с.
7. **Polukhin A. V., Ostapenko O. S.** Featuresof landingapproachforaircraftinautomaticandyokecontrol modesinconditionsofhorizontallateralwindshear. *Science-basedtechnologies*. 2018. Т. 4. Вип. 40. P. 512–517. DOI: 10.18372/2310-5461.40.13280.
8. **Руководство** по навигации, основанной на характеристиках (RBN). Издание четвертое — 2013. Doc 9613. Монреаль: ИКАО. 2013. 444 с. URL: file:///D:/Documents/Downloads/-images-access-9613_cons_ru.pdf (Дата звернення 17.01.2020).
9. **Авиационная** электросвязь. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Том I. Радионавигационные средства. Издание шестое (с поправками). Монреаль: ИКАО. 2006. 636 с. URL: http://www.aviadocs.net/icaodocs/annexes/an10_v1_cons_ru.pdf (Дата звернення 01.12.2019).
10. **Михалев И. А., Окоёмов Б. Н., Чиклаев И. С.** Системы автоматической посадки. Москва: Машиностроение, 1975. 216 с.
11. **ГОСТ 20058-80**. Динамика полета летательных аппаратов в атмосфере. Москва: Издательство Стандартов, 1980. 51 с.
12. **Ярлык М. С.** Статистическая теория радионавигации. Москва: Радио и связь. 1985. 344 с.

13. **Полухін А. В.,** Закалата Д. Ю., Ляховський В. Про вплив завад у сигналі глісадної радіомаякової системи на точність автоматичного заходу літака на посадку. *Наукоємні технології*. 2019. Т. 4. Вип. 44. С. 409–416. DOI: 10.18372/2310-5461.44.14316.

14. **Вентцель Е. С.,** Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебное пособие. 5-е изд., стер. Москва: Юстиция, 2018. 480 с.

15. **Дубров А. М.,** Мхитарян В. С., Трошин Л. И. Многомерные статистические методы для экономистов и менеджеров. Москва: Финансы и статистика. 2003. 352 с.

**Полухін А. В., Закалата Д. Ю., Ляховський В.
ПРО ВПЛИВ ЗАВАД У СИГНАЛІ КУРСОВОЇ РАДІОМАЯКОВОЇ СИСТЕМИ
НА ТОЧНІСТЬ АВТОМАТИЧНОГО ЗАХОДУ ЛІТАКА НА ПОСАДКУ**

Забезпечення безпеки польотів є актуальною, але й водночас складною проблемою. Її складність полягає в тому, що рівень безпеки польотів визначається багатьма чинниками. До основних чинників, які істотно впливають на рівень безпеки польотів, відносяться: стан авіаційної техніки, правильність дій авіаційного персоналу, стан зовнішнього середовища, в якому відбувається експлуатація авіаційної техніки, та інші

Статистика свідчить, що більшість усіх інцидентів на світовому авіаційному транспорті відбувається на етапах заходу на посадку і посадки. тому що вони характеризуються значними змінами швидкості, висоти, курсу літака, режимів роботи його двигунів, зміною конфігурації з польотної на посадкову в умовах психологічного тиску на екіпаж чиннику близькості землі і незначного запасу швидкості та дефіциту часу на аналіз ситуації і прийняття правильних рішень щодо управління літаком.

На рівень безпеки польотів у процесі заходу літака на посадку за сигналом курсової радіомаякової системи, поруч з іншими технічними чинниками, впливає точність виходу літака в площину посадкового курсу та точність руху по ній з погляду на те, що зазначений сигнал містить статичні та динамічні завади.

Для проведення дослідження впливу динамічних завад у сигналі курсової радіомаякової системи на точність автоматичного заходу літака на посадку авторами статті розроблена цифрова математична модель динаміки польоту середньомагістрального літака, яка дозволяє дослідити процеси його виходу в площину посадкового курсу та стабілізації літака в цій площині в умовах відсутності або дії завад у сигналі курсової радіомаякової системи.

Проведено дослідження впливу на точність автоматичного заходу літака на посадку низькочастотних та високочастотних завад у сигналі курсової радіомаякової системи максимальної, передбаченої нормативними документами, інтенсивності. Показано, що зазначені завади оказують незначний вплив на траєкторні параметри польоту літака, хоча й викликають його «розгойдування» за бічним відхиленням від площини посадкового курсу, креном та курсом з амплітудами, які збільшуються по мірі наближення літака до курсового радіомаяка, залишаючись в межах допустимих нормативними документами значень.

Ключові слова: безпека польотів; захід літака на посадку; курсовий радіомаяк; завади.

**Polukhin A., Zakalata D., Liakhovskiy V.
ABOUT THE INTERFERENCES INFLUENCE IN THE SIGNAL OF A COURSE RADIO BEACON
SYSTEM ON THE ACCURACY OF THE AUTOMATIC APPROACH FOR LANDING OF THE
AIRCRAFT**

Flight safety assurance is an urgent and at the same time complex problem. Its complexity lies in the fact that the level of flight safety is determined by many factors. The main factors that significantly affect the level of flight safety include: the state of aviation equipment, the correctness of the aviation personnel actions, the state of the environment in which the operation of aviation equipment occurs, and others.

Statistics shows that most of all accidents in the world's air transport occur at the stages of approach and landing, because they are characterized by significant changes in speed, altitude, heading of the aircraft, the modes of engines operation, a change in configuration from flight- to landing- in conditions of psychological pressure on the crew the following factors: proximity to the earth and a small margin of speed and lack of time to analyze the situation and make decisions as to aircraft operation.

The level of flight safety during the approach of an aircraft by a courseradio beacon system signal, together with other technical factors, is affected by the accuracy of the plane's exit into the plane of the landing course and the accuracy of movement along it of view that the signal contains static and dynamic noise.

To conduct a study of the dynamic noise influence in the signal of a course radio beacon system on the accuracy of an aircraft's automatic approach, the authors of the article developed a digital mathematical model of the flight dynamics of a medium-haul aircraft, that allows to study the processes of its by the accuracy of the plane's exit into the plane of the landing course and the accuracy of movement along it of view that the course radio beacon system signal contains static and dynamic noise.

The influence of the low-frequency and high-frequency interference in the course radio beacon system of the maximum intensity provided for by regulatory documents on the accuracy of the automatic approach of an aircraft has been

studied. It has been shown that the specified interference has an insignificant effect on the aircraft's trajectory parameters, but causes it to «swing» in lateral deviation from the plane of the landing course, in roll and heading with amplitudes that increase as the aircraft approaches the course radio beacon, while remaining within the limits allowed by regulatory documents.

Keywords: flight safety; aircraft landing approach; course radio beacon; interferences.

Полухин А. В., Закалата Д. Ю., Ляховский В.

О ВЛИЯНИИ ПОМЕХ В СИГНАЛЕ КУРСОВОЙ РАДИОМАЯЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАХОДА САМОЛЕТА НА ПОСАДКУ

Обеспечение безопасности полетов является актуальной и одновременно сложной проблемой. Ее сложность заключается в том, что уровень безопасности полетов определяется многими факторами. К числу основных факторов, которые существенно влияют на уровень безопасности полетов, относятся: состояние авиационной техники, правильность действий авиационного персонала, состояние внешней среды, в которой происходит эксплуатация авиационной техники, и другие.

Статистика свидетельствует, что большинство всех инцидентов мировом авиационном транспорте происходит на этапах захода на посадку и посадки. потому что они характеризуются значительными изменениями скорости, высоты, курса самолета, режимов работы его двигателей, изменением конфигурации с полетной на посадочную в условиях психологического давления на экипаж фактора близости земли и незначительного запаса скорости и дефицита времени на анализ ситуации и принятие решений по управлению самолетом.

На уровень безопасности полетов в процессе захода самолета на посадку по сигналу курсовой радиомаячной системы, вместе с другими техническими факторами, влияет точность выхода самолета в плоскость посадочного курса и точность движения по ней с точки зрения того, что указанный сигнал содержит статические и динамические помехи.

Для проведения исследования влияния динамических помех в сигнале курсовой радиомаячной системы на точность автоматического захода самолета на посадку авторами статьи разработана цифровая математическая модель динамики полета среднемагистрального самолета, которая позволяет исследовать процессы его выхода в плоскость посадочного курса и стабилизации самолета в этой плоскости в условиях отсутствия или действия помех в сигнале курсовой радиомаячной системы.

Проведено исследование влияния на точность автоматического захода самолета на посадку низкочастотных и высокочастотных помех в сигнале курсовой радиомаячной системы максимальной, предусмотренной нормативными документами, интенсивности. Показано, что указанные помехи оказывают незначительное влияние на траекторные параметры полета самолета, хотя и вызывают его «раскачивание» по боковому отклонению от плоскости посадочного курса, крену и курсу с амплитудами, которые увеличиваются по мере приближения самолета к курсовому радиомаяку, оставаясь в пределах допустимых нормативными документами значений.

Ключевые слова: безопасность полетов; заход самолета на посадку; курсовой радиомаяк; помехи.

Стаття надійшла до редакції 11.08.2020 р.

Прийнято до друку 21.09.2020 р.