

DOI: 10.18372/2310-5461.44.14316

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 ГЛІСАДНОЇ РАДІОМАЯКОВОЇ СИСТЕМИ НА ТОЧНІСТЬ АВТОМАТИЧНОГО ЗАХОДУ ЛІТАКА НА ПОСАДКУ

Вступ

Безпека польотів літальних апаратів є головною для забезпечення безпеки авіаційної діяльності в цілому. Питання безпеки польотів знаходиться в центрі уваги і становить головний зміст стандартів та рекомендованої практики Міжнародної організації цивільної авіації (ІСАО). Зокрема, в «Глобальному плані забезпечення безпеки польотів» ІСАО наголошується: «Постійне підвищення рівня безпеки польотів у глобальному масштабі має засадниче значення для забезпечення того, щоб повітряний транспорт й надалі грав важливу роль одного з рушіїв сталого економічного та соціального розвитку у всьому світі. У галузі, яка прямо або опосередковано забезпечує роботою 56,6 млн осіб, генерує внесок 2 трлн дол. США до глобального валового внутрішнього продукту і щорічно здійснює перевезення понад 2,5 млрд пасажирів та вантажів загальною вартістю 5,3 трлн дол. США, забезпечення безпеки польотів має бути найпершим та першочерговим завданням» [1].

Адже від авіаційних подій, які супроводжуються загрозами для безпеки польотів, суспільство має відчутні збитки, зокрема, збитки соціального характеру, які не піддаються моральній та матеріальній оцінці у випадку загибелі людей, бо людське життя безцінне, прямі та опосередковані економічні збитки, викликані втратою дорогої авіаційної техніки та падінням довіри у суспільства до повітряного транспорту і зменшенням через це обсягів авіаційних перевезень тощо.

Постановка проблеми та її актуальність

Нормативними документами встановлено, 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 прийняттого рівня та контролюються [2].

Забезпечення безпеки польотів є актуальною, але й водночас складною проблемою. Її складність полягає в тому, що рівень безпеки польотів визначається багатьма чинниками, які проявляються на всіх етапах життєвого циклу авіаційної техніки.

До основних чинників, які істотно впливають на рівень безпеки польотів, відносяться: стан авіаційної техніки (технічний чинник), правильність дій авіаційного персоналу (людський чинник), стан зовнішнього середовища, у якому відбувається експлуатація авіаційної техніки та ін. [3].

Статистика свідчить, що близько 36 % усіх катастроф на світовому авіаційному транспорті відбувається на етапах заходу на посадку і посадки. З них на етап заходу на посадку припадає понад 14 % катастроф. З погляду на те, що тривалість етапів заходу на посадку і посадки у середньому не перевищує 3–4 % часу польоту середньомагістрального літака, впливає, що рівень безпеки його польоту на цих етапах у десятки разів менший, ніж рівень безпеки протягом усього польоту [4].

Низький рівень безпеки польотів на етапах заходу на посадку і посадки пояснюється тим, що вони є найскладнішими етапами польоту, під час виконання яких відбуваються значні зміни швидкості, висоти, курсу літака, режимів роботи його двигунів, зміна конфігурації з польотної на посадкову тощо.

При цьому екіпаж літака перебуває в умовах психологічного тиску чиннику близькості землі і незначного запасу швидкості та дефіциту часу на

аналіз ситуації, яка швидко змінюється, і прийняття правильних рішень щодо управління.

Зазначимо, що значний вплив на можливість успішного завершення польоту літака в режимах як автоматичного, так і штурвального управління оказують у процесі заходу літака на посадку багато технічних чинників, зокрема, точність його виходу в площину посадкового курсу, а також точність руху в цій площині та по глісаді з погляду на те, що сигнали курсових та глісадних радіомаякових систем, які забезпечують захід на посадку, містять статичні та динамічні завади.

З наведеного випливає, що дослідження впливу завад у сигналі глісадної радіомаякової системи на точність автоматичного заходу літака на посадку, як одного з важливих чинників забезпечення безпеки польоту на цьому етапі, є важливим та актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню теоретичних та практичних аспектів проблеми безпеки польотів, впливу на її рівень різноманітних чинників та шляхів його підвищення в реальних умовах експлуатації авіаційної техніки на землі та в повітрі присвятили свої праці українські та зарубіжні дослідники: С. Белгородський, М. Давиденко, Б. Данилов, Ю. Доброленський, Б. Зубков, Р. Сакач, М. Смуров, М. Яцков та ін.

У своїх працях зазначені та інші дослідники розглядають теоретичні та практичні питання організаційно-правового, методичного, технічного, кадрового та інформаційного забезпечення безпеки польотів та їх взаємозв'язок в контексті розвитку авіаційного транспорту.

Проте деякі аспекти технічного чиннику впливу на рівень безпеки польотів, зокрема, впливу завад у сигналах радіомаякових систем заходу літаків на посадку в режимах штурвального та автоматичного управління досліджено, на наш погляд, ще недостатньо повно.

Мета статті

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

Викладення основного матеріалу

Для забезпечення заходу на посадку та посадки літаків використовують різноманітні наземні та бортові системи. Найбільш поширеними на теперішній час при інструментальному заході літака на посадку є радіомаякові системи. До складу цих систем входить курсовий (КРМ), глісадний (ГРМ) радіомаяки та відповідне бортове обладнання, зокрема, курсовий (КРП) та глісад-

ний (ГРП) радіоприймачі. Місця розташування КРМ та ГРМ відносно злітно-посадкової смуги (ЗПС), вимоги до їх зон випромінювання та деякі важливі характеристики для певних точок, визначених відносно ЗПС, встановлюються нормативними документами ІКАО [5]:

Опорна точка ІЛС (точка «Т»). Точка, яка розташована на певній висоті над перетином осьової лінії ЗПС та лінії порогу ЗПС та через яку проходить продовжена вниз прямолінійна ділянка глісади ІЛС.

Точка «А» ІЛС. Точка на глісаді ІЛС, яка знаходиться на відстані 7500 м (4 морські милі) від порогу ЗПС, відлічених у напрямку заходу на посадку на продовженні осьової лінії ЗПС.

Точка «В» ІЛС. Точка на глісаді ІЛС, яка знаходиться на відстані 1050 м (3500 футів) від порогу ЗПС, відлічених у напрямку заходу на посадку на продовженні осьової лінії ЗПС.

Точка «С» ІЛС. Точка, через яку на висоті 30 м (100 футів) над горизонтальною площиною, що проходить через поріг ЗПС, проходить продовжена вниз прямолінійна ділянка номінальної глісади ІЛС.

Точка «Д» ІЛС. Точка, розташована на висоті 4 м (12 футів) над осьовою лінією ЗПС і на відстані 900 м (3000 футів) від порогу ЗПС в напрямку курсового радіомаяка.

Точка «Е» ІЛС. Точка, розташована на висоті 4 м (12 футів) над осьовою лінією ЗПС і на відстані 600 м (2000 футів) від кінця ЗПС в напрямку порогу ЗПС.

Точка приземлення. Точка, у якій глісада з номінальним кутом нахилу перетинає ЗПС.

Як було зазначено вище, у реальних умовах експлуатації сигнали радіомаяків містять статичні та динамічні завади. Основними джерелами статичних завад є неточність установки антен радіомаяків, складний рельєф місцевості, наявність різноманітних нерухомих об'єктів, які розташовані в зоні випромінювання радіомаяків, особливо, якщо ці об'єкти мають магнітні властивості (будівлі, споруди) тощо.

Динамічні завади мають стохастичний характер і містять низькочастотні та високочастотні складові. Низькочастотні завади викликані вібрацією антен радіомаяків під дією поривів вітру, прольотом літаків та проїздом наземних транспортних засобів у зоні їх дії тощо. Високочастотні завади викликані нестабільністю роботи радіобладнання, паразитними перевипромінюваннями та фазовими зсувами у випромінюваннях радіомаяків тощо.

Статичні та динамічні завади викликають викривлення рівносигнальних зон радіомаяків і флуктуацій струму на виході КРП та ГРП. При

автоматичному заході літака на посадку ці флуктуації «відпрацьовуються» системою автоматичного управління, викликаючи відхилення органів управління і, як наслідок, «розгойдування» літака.

У зв'язку з тим, що курсові та глісадні радіомаякові системи є кутовимірними, то «розгойдування» літака внаслідок дії завад може стати особливо небезпечним і створити загрозу безпеці польоту в міру наближення літака до ЗПС, коли навіть при відносно невеликих лінійних відхиленнях щодо рівносигнальних зон КРМ та ГРМ кутові відхилення збільшуються в міру зменшення відстані до радіомаяків.

Тому, відповідно до вимог нормативних документів, налаштування радіомаяків, зокрема, глісадних, та бортового обладнання літаків здійснюється таким чином, щоб під час заходу літака на посадку за категоріями II і III відхилення параметрів польоту внаслідок викривлення лінії глісади на висоті 15 м не перевищували з ймовірністю 95 % по куту тангажу — величину 2° , а по лінійному вертикальному зміщенню по висоті — величину 1,2 м [5].

З метою забезпечення зазначених вимог для рівносигнальної зони ГРМ (лінії глісади) при заході на посадку за категоріями II і III встановлені такі граничні значення амплітуди (різності глибини модуляції — РГМ) її викривлення з 95 % ймовірності: від зовнішньої межі зони дії до точки «А» — 0,035; від точки «А» до точки «В» — 0,035 в точці «А», зменшуючись за лінійним законом до величини 0,023 в точці «В»; від точки «В» до опорної точки — 0,023 [5].

Для проведення дослідження впливу низькочастотних та високочастотних завад у сигналі глісадної радіомаякової системи на точність автоматичного заходу літака на посадку і досягнення зазначеної вище мети досліджень, авторами статті розроблена цифрова математична модель динаміки польоту середньомагістрального літака, яка дозволяє дослідити процеси його стабілізації на заданій висоті кола при довіпуску закрилків у посадкове положення перед входом у глісаду, «захвату» глісади та стабілізації літака на ній в режимі автоматичного управління з одночасною стабілізацією заданої приладової швидкості через автомат тяги в умовах відсутності або дії завад у сигналі глісадної радіомаякової системи.

У розробленій моделі також передбачена можливість проведення досліджень при різних кутах нахилу глісади та значеннях крутизни сигналу тракту ГРМ-ГРП у діапазоні від мінімальної до максимальної.

Ураховуючи, що в процесі заходу літака на посадку за сигналами ГРМ після його виходу в площину посадкового курсу параметри польоту змінюються в незначних діапазонах, автори статті вважають за доцільне використовувати математичну модель динаміки польоту літака в повздовжній площині у вигляді наведеної нижче системи лінеаризованих диференціальних рівнянь, у якій застосовуються позначення параметрів польоту відповідно до вимог діючого в Україні стандарту [6; 7]:

$$\begin{aligned} \dot{V}_k &= -e_1 V - c_8 \alpha - c_7 \vartheta - c_{14} \delta_3 - c_{19} \delta_r; \\ \ddot{\vartheta} &= -c_1 \dot{\vartheta} - c_2 \alpha - c_5 \dot{\alpha} - e_3 V - c_{12} \delta_3 - c_{21} \varphi_{ct} - c_3 \delta_b; \\ \dot{\theta} &= c_4 \alpha + e_2 V + c_{13} \delta_3 + c_{22} \varphi_{ct} + c_9 \delta_b; \\ \alpha &= \vartheta - \theta; \\ \dot{H} &= c_6 \theta; \\ V &= V_k - W_x; \\ n_y &= c_{16} \dot{\theta}. \end{aligned}$$

Авторами статті під час проведення досліджень було зроблено припущення, що в сигналі тракту ГРМ-ГРП присутні лише динамічні низькочастотні та високочастотні завади, а статичні завади відсутні. Для спрощення було прийнято також, що середньоквадратичні величини інтенсивності низькочастотної та високочастотної завад є рівними між собою.

Математичні моделі низькочастотних та високочастотних завад у сигналах тракту ГРМ-ГРП були розроблені, виходячи з того, що вони становлять собою стаціонарні гаусівські стохастичні процеси з нульовим математичним сподіванням та зі спектральними щільностями виду [8]:

$$\begin{aligned} S_{н.в}(\omega) &= 2\alpha_{н.в} \sigma_{н.в}^2 / (\alpha_{н.в}^2 + \omega^2), \\ \alpha_{н.в} &= 1/T_{н.в}, \end{aligned}$$

де $S_{н.в}(\omega)$ — спектральні щільності; $\sigma_{н.в}^2$ — середньоквадратичні значення інтенсивності; $T_{н.в}$ — сталі часу, відповідно, низькочастотної (з індексом «н») та високочастотної (з індексом «в») завад.

Стаціонарні гаусівські стохастичні процеси, які моделюють низькочастотні та високочастотні завади в сигналі тракту ГРМ-ГРП, на підставі наведених вище виразів їх спектральних щільностей, отримуються на виході лінійних формуючих фільтрів з передавальними функціями

$$W_{н.в}(p) = \alpha_{н.в} / (p + \alpha_{н.в})$$

при подачі на входи фільтрів стаціонарного гаусівського «білого шуму» з нульовим математичним сподіванням та заданою дисперсією.

При проведенні досліджень процесу заходу середньомагістрального літака на посадку за сигналами глісадної радіомаякової системи були прийняті такі вихідні значення його параметрів польоту: польотна вага — 73 т; центрітка — 24 % САХ; задана висота кола — 500 м; задана приладова швидкість на висоті кола — 280 км/год, на глісаді — 270 км/год; початкова відстань від порогу ЗПС вздовж її осі — 15 км; кут нахилу глісади — 2,67 град; крутизна сигналу тракту ГРМ-ГРП — $S_{гп} = (200...925) \mu\text{А/град}$, атмосферні збурення відсутні.

Зазначимо, що вплив атмосферних збурень у вигляді вертикального зсуву вітру на точність заходу літака на посадку за сигналами ГРМ в режимах автоматичного та штурвального управління було досліджено у праці [9].

Перед проведенням основних досліджень було проведено 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 льотних випробувань.

Результати аналізу показали, що розроблена модель має високий ступінь динамічної подібності реальному об'єкту і може бути використана при проведенні подальших досліджень.

Дослідження заходу літака на посадку за сигналом ГРМ з використанням розробленої автотраєкторії цифрової математичної моделі здійснювались з урахуванням такої технологічної послідовності процесів: після виходу в площину посадкового курсу літак летить на висоті кола 500 м в режимі її автоматичної стабілізації з одночасною стабілізацією заданої приладової швидкості через автомат тяги; на відстані 2,5 км від точки входу в глісаду починається довипуск закрилків з одночасним поворотом стабілізатора в посадкове положення; при перетині глісади відбувається її «захват» і літак переходить з режиму автоматичної стабілізації заданої висоти кола на режим автоматичної стабілізації на глісаді з одночасною стабілізацією заданої приладової швидкості до досягнення порогу ЗПС.

Зазначимо, що нормативними документами ІСАО встановлені такі вимоги до якості перехідних процесів при заході літака на посадку за сигналами ГРМ [5]:

Процес «захвату» рівносигнальної зони ГРМ повинен бути близьким до аперіодичного з одним перерегулюванням, що не перевищує по вихідному сигналу ГРП $\pm 125 \mu\text{А}$; в усіх випадках він повинен закінчуватися до моменту досягнення висоти 200 м, причому, процес

вважається закінченим, якщо вихідний сигнал ГРП увійшов у «трубку», що дорівнює $\pm 55 \mu\text{А}$ і продовжує залишатися в межах цієї «трубки» з імовірністю 95 % аж до висоти прийняття рішення.

Зазначені вище вимоги повинні виконуватися при розумному поєднанні таких умов: зустрічний вітер зі швидкістю до 13 м/с, попутний вітер зі швидкістю до 5 м/с, турбулентність атмосфери викликає нормальне перевантаження, яке не перевищує $\sigma_{ny} = 0,5$.

Нижче наведено результати досліджень автоматичного заходу літака на посадку за сигналами ГРМ, отримані для різних умов.

На рис. 1–3 наведені графічні залежності зміни висоти польоту (вісь ординат, м) залежно від відстані літака до порогу ЗПС (вісь абсцис, км) при заході літака на посадку при різних значеннях крутизни сигналу тракту ГРМ-ГРП за відсутності завад у сигналі глісадної радіомаякової системи. Тут і далі тонкою лінією позначено лінію глісади.

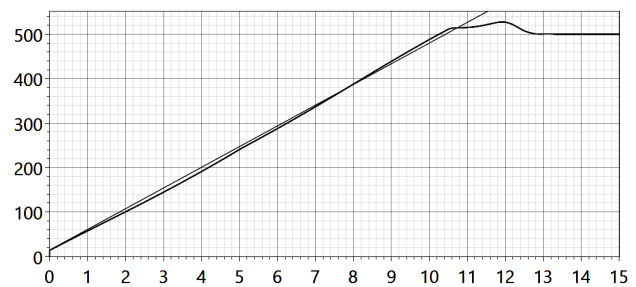


Рис. 1. Захід літака на посадку за відсутності завад, $S_{гп} = 200 \mu\text{А/град}$

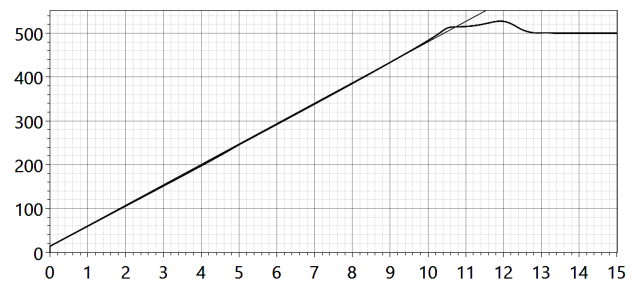


Рис. 2. Захід літака на посадку за відсутності завад, $S_{гп} = 550 \mu\text{А/град}$

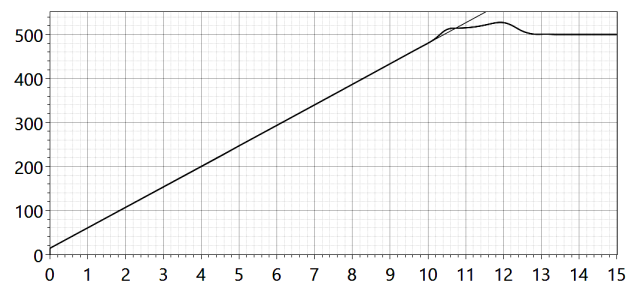


Рис. 3. Захід літака на посадку за відсутності завад, $S_{гп} = 925 \mu\text{А/град}$

Аналіз отриманих результатів моделювання показує, що за відсутності атмосферних збурень та завад у сигналі глісадної радіомаякової системи точність стабілізації літака на заданій висоті кола при довіпуску закрилків, «захвату» та стабілізації його на глісаді в автоматичному режимі відповідають нормативним вимогам у всьому діапазоні можливого значення крутизни сигналу тракту ГРМ-ГРП від 200 $\mu\text{A}/\text{град}$ до 925 $\mu\text{A}/\text{град}$ зі значним запасом.

Зокрема, «спухання» літака відносно заданої висоти кола при довіпуску закрилків не перевищує 27,4 м. Процес «захвату» рівносигнальної зони ГРМ є близьким до аперіодичного з одним перерегулюванням, яке відповідає струму на виході ГРП +8,91 μA при $S_{\text{ГЛ}} = 200 \mu\text{A}/\text{град}$ (рис. 1), +21,89 μA при $S_{\text{ГЛ}} = 550 \mu\text{A}/\text{град}$ (рис. 2) та +38,48 μA при $S_{\text{ГЛ}} = 925 \mu\text{A}/\text{град}$ (рис. 3). Усі ці значення струму не перевищують допустимих.

При цьому «провал» літака за вертикальним перевантаженням при «захваті» глісади не перевищує значення — 0,17, що відповідає зоні комфорту пасажирів.

Водночас слід зазначити, що процес руху літака по глісаді після її «захвату» при $S_{\text{ГЛ}} = 200 \mu\text{A}/\text{град}$ є більш коливальним, з більшим «уходом» літака під глісаду на $-34,63 \mu\text{A}$ ($-9,74 \text{ м}$), ніж при номінальному та максимальному значенні крутизни сигналу тракту ГРМ-ГРП. «Ухід» літака під глісаду при $S_{\text{ГЛ}} = 550 \mu\text{A}/\text{град}$ становить $-24,86 \mu\text{A}$ ($-3,14 \text{ м}$), а при $S_{\text{ГЛ}} = 925 \mu\text{A}/\text{град}$ становить $-13,06 \mu\text{A}$ ($-1,09 \text{ м}$).

Поріг ЗПС літак перетинає нижче глісади при $S_{\text{ГЛ}} = 200 \mu\text{A}/\text{град}$ на 0,62 м, при $S_{\text{ГЛ}} = 550 \mu\text{A}/\text{град}$ — на 0,23 м та при $S_{\text{ГЛ}} = 925 \mu\text{A}/\text{град}$ — на 0,08 м.

Як було зазначено вище, низькочастотні та високочастотні завади у сигналі глісадної радіомаякової системи становлять собою стаціонарні гаусівські стохастичні процеси. Цілком зрозуміло, що зміна параметрів польоту літака при заході його на посадку в умовах дії зазначених завад також має стохастичний характер.

Відомо, що при дослідженні будь-якого стохастичного процесу виникає проблема достовірності висновків, отриманих у результаті статистичного опрацювання отриманих даних, яка у багатьох випадках залежить від успішного вирішення питання репрезентативності вибірки, тобто повноти та адекватності представлення нею властивостей генеральної сукупності [10].

Виходячи з того, що репрезентативність вибірки визначається, головним чином, її обсягом, авторами статті було проведено моделювання понад 30 заходів літака на посадку в умовах дії

стохастичних завад у сигналі глісадної радіомаякової системи максимальної інтенсивності, передбаченої нормативними документами, тобто була сформована вибірка достатньо великого обсягу, що дозволяє вважати її репрезентативною.

На рис. 4 наведено графічну залежність зміни висоти польоту (вісь ординат, м), а на рис. 5 — кута тангажу (вісь ординат, град), залежно від відстані літака до порогу ЗПС (вісь абсцис, м) на заключній ділянці руху літака по глісаді, починаючи з відстані 3000 м, при номінальному значенні крутизни сигналу тракту ГРМ-ГРП $S_{\text{ГЛ}} = 550 \mu\text{A}/\text{град}$ за наявності низькочастотних та високочастотних завад у сигналі глісадної радіомаякової системи.

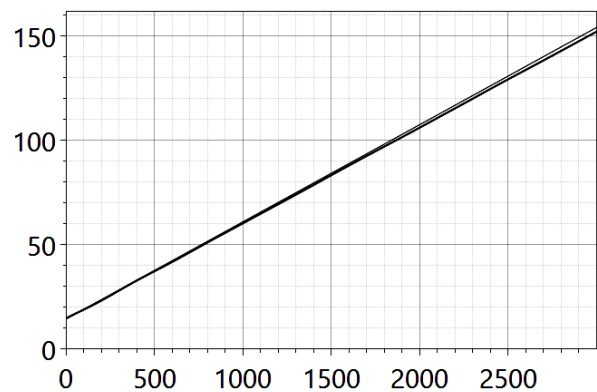


Рис. 4. Зміна висоти польоту під час руху літака по глісаді в умовах дії завад максимальної інтенсивності

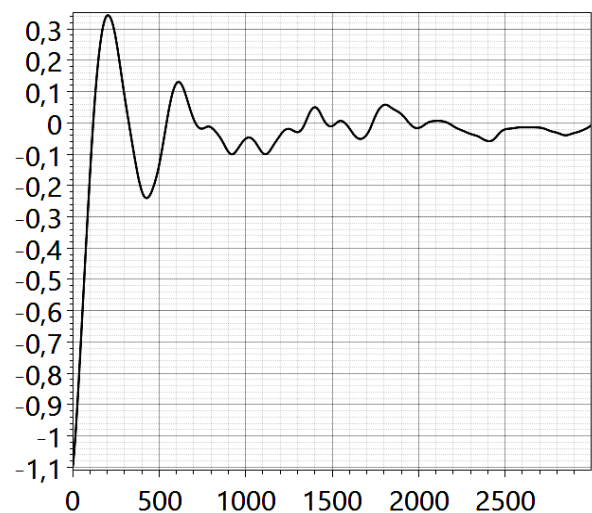


Рис. 5. Зміна кута тангажу під час руху літака по глісаді, викликана дією завад максимальної інтенсивності

Результати досліджень показують, що низькочастотні та високочастотні завади у сигналі глісадної радіомаякової системи незначно впливають на траєкторні параметри, зокрема, на висоту польоту, викликаючи з імовірністю 95 % максимальне лінійне зміщення літака по висоті

від глісади величиною 1,86 м на відстані 3000 м до порогу ЗПС та 0,54 м — над її порогом.

Водночас має місце «розгойдування» літака за кутом тангажу, амплітуда якого збільшується в міру його наближення до ГРМ, досягаючи з імовірністю 95 % величини $-1,1^\circ$ над порогом ЗПС.

При цьому «розгойдування» літака за кутом тангажу викликає так звану «бовтанку» слабкої інтенсивності, яка супроводжується змінами вертикального перевантаження як по величині, так і по знаку, з максимальним «закидом» величиною $-0,07$ над порогом ЗПС.

Зазначені вище амплітуди не перевищують максимально допустимих значень, встановлених нормативними документами ІКАО.

Висновки

Забезпечення безпеки польотів є актуальною, але й водночас складною проблемою. Її складність полягає в тому, що рівень безпеки польотів визначається багатьма чинниками.

Значний вплив на можливість успішного завершення польоту літака оказує у процесі заходу літака на посадку за сигналами ГРМ, зокрема, точність «захвату» глісади та точність руху по ній з погляду на те, що сигнал глісадної радіомаякової системи, яка забезпечує захід на посадку, містить статичні та динамічні завади.

Для проведення дослідження впливу динамічних завод у сигналі глісадної радіомаякової системи на точність автоматичного заходу літака на посадку авторами статті розроблена цифрова математична модель динаміки польоту середньомаягстрального літака, яка дозволяє дослідити процеси його стабілізації на заданій висоті кола при довіпуску закриттів у посадкове положення перед входом у глісаду, «захвату» глісади та стабілізації літака на ній в умовах відсутності або дії завод у сигналі глісадної радіомаякової системи.

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

У реальних умовах експлуатації пілот в режимі штурвального управління при заході на посадку значною мірою «відфільтровує» зазначені динамічні завади, не відхиляючи зайвий раз руль висоти літака і не «розгойдуючи» його. Але в режимі автоматичного управління сервоприводи, маючи достатньо широку полосу пропускання, «відпрацьовують» як корисний сигнал управління, так і сигнали статичних та динамічних завод, постійно відхиляючи руль висоти і «розгойдую-

чи» літак. Це підтверджується результатами проведених досліджень.

Показано, що низькочастотні та високочастотні завади у сигналі глісадної радіомаякової системи максимальної інтенсивності оказують незначний вплив на траєкторні параметри польоту літака, зокрема, на висоту, але викликають його «розгойдування» за кутом тангажу та вертикальним перевантаженням з амплітудами, які збільшуються в міру наближення літака до глісадного радіомаяка, залишаючись в межах допустимих нормативними документами значень.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Глобальный** план обеспечения безопасности полетов. Doc 10004. 2014–2016. Монреаль: ИКАО. 2014. 80 с. URL: http://www.medicine-avia.narod.ru/Normdoc/ICAO_Globplane_20142016.pdf (Дата звернення 15.11.2019).
2. **Управление** безопасностью полетов. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Издание второе, июль 2016 года. Монреаль: ИКАО. 2016. 48 с. URL: <http://caa.gov.by/uploads/files/ICAO-Pr19-ru-izd-2-2016.pdf> (Дата звернення 15.11.2019).
3. **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.
4. **Statistics**. Causes of Fatal Accidents. Fatalities by Phase of Flight. URL: <http://www.planecrashinfo.com/cause.htm> (Last accessed 11.11.2019).
5. **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 15.11.2019).
6. **Михалев И. А.**, Окоемов Б. Н., Чикулаев И. С. Системы автоматической посадки. Москва: Машиностроение, 1975. 216 с.
7. **ГОСТ 20058-80**. Динамика полета летательных аппаратов в атмосфере. Москва: Издательство Стандартов, 1980. 51 с.
8. **Ярлыков М. С.** Статистическая теория радионавигации. Москва. Радио и связь. 1985. 344 с.
9. **Бабич Я. О.**, Бочелюк А. О., Полухин А. В. Особенности захода на посадку літака в режимах автоматичного та штурвального управління в умовах вертикального зсуву вітру. *Проблеми інформатизації та управління*. 2017. Вип. 4 (60). С. 98. DOI: 10.18372/2073-4751.4.12814.
10. **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 ГЛІСАДНОЇ 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, які проявляються на всіх етапах життєвого циклу авіаційної техніки. До основних чинників, які істотно впливають на рівень безпеки польотів, відносяться: стан авіаційної техніки (технічний чинник), правильність дій авіаційного персоналу (людський чинник), стан зовнішнього середовища, в якому відбувається експлуатація авіаційної техніки, та інші

Статистика свідчить, що близько 36% усіх катастроф 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 глісадної радіомаякової системи, поруч з іншими технічними чинниками, впливає точність «захвату» глісади 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 глісадної радіомаякової системи на точність автоматичного заходу літака на посадку авторами статті розроблена цифрова математична модель динаміки польоту середномагістрального літака, яка дозволяє дослідити процеси його стабілізації на заданій висоті кола при довіпуску закрилків у посадкове положення перед входом у глісаду, «захвату» глісади та стабілізації літака на ній в умовах відсутності або дії завад у сигналі глісадної радіомаякової системи.

Проведено дослідження впливу на точність автоматичного заходу літака на посадку низькочастотних та високочастотних завад у сигналі глісадної радіомаякової системи максимальної, передбаченої нормативними документами, інтенсивності. Показано, що зазначені завади оказують незначний вплив на траєкторні параметри польоту літака, але викликають його «розгойдування» за тангажем та вертикальним перевантаженням з амплітудами, які збільшуються в міру наближення літака до глісадного радіомаяка, залишаючись в межах допустимих нормативними документами значень.

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

Polukhin A., Zakalata D., Liahkovskiy V.

ABOUT THE INTERFERENCES INFLUENCE IN THE SIGNAL OF A GLIDESLOPE RADIO BEACON SYSTEM ON THE ACCURACY OF THE AUTOMATIC APPROACH FOR LANDING OF THE PLANE

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 that manifest themselves at all stages of the aircraft's life cycle. The main factors that significantly affect the level of flight safety include: the state of aviation equipment (technical factor), the correctness of the aviation personnel actions (human factor), the state of the environment in which the operation of aviation equipment occurs, and others.

Statistics shows that about 36% 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 glide path beacon system signal, together with other technical factors, is affected by the accuracy of glide path "capture" and the accuracy of movement along it from the point of view that the signal contains static and dynamic noise.

To conduct a study of the dynamic noise influence in the signal of a glide path 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 stabilization at a given holding zone altitude while extending flaps into landing position before entering the glide path, "capture" the glide path and stabilizing the aircraft on it in the absence or presence of interference in the signal of glide path beacon system.

The influence of the low-frequency and high-frequency interference on the glide path of a glide path beacon system on 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 pitch and vertical acceleration with amplitudes that increase as the aircraft approaches the glide path beacon, while remaining within the limits allowed by regulatory documents.

Keywords: flight safety; aircraft landing approach; glide path; interference.

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

О ВЛИЯНИИ ПОМЕХ В СИГНАЛЕ ГЛИССАДНОЙ 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, которые проявляются на всех этапах жизненного цикла авиационной техники. К числу основных факторов, которые существенно влияют на уровень безопасности полетов, относятся: состояние авиационной техники (технический фактор), правильность действий авиационного персонала (человеческий фактор), состояние внешней среды, в которой происходит эксплуатация авиационной техники, и другие.

Статистика свидетельствует, что около 36 % всех катастроф на 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 глиссадной радиомаячной системы, вместе с другими техническими факторами, влияет точность «захвата» глиссады 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 глиссадной радиомаячной системы на точность автоматического захода самолета на посадку авторами статьи разработана цифровая математическая модель динамики полета среднемагистрального самолета, которая позволяет исследовать процессы его стабилизации на заданной высоте круга при довыпуске закрылков в посадочное положение перед входом в глиссаду, «захвату» глиссады и стабилизации самолета на ней в условиях отсутствия или действия помех в сигнале глиссадной радиомаячной системы.

Проведено исследование влияния на точность автоматического захода самолета на посадку низкочастотных и высокочастотных помех в сигнале глиссадной радиомаячной системы максимальной, предусмотренной нормативными документами, интенсивности. Показано, что указанные помехи оказывают незначительное влияние на траекторные параметры полета самолета, но вызывают его «раскачивание» по тангажу и вертикальной перегрузке с амплитудами, которые увеличиваются по мере приближения самолета к глиссаднему радиомаяку, оставаясь в пределах допустимых нормативными документами значений.

Ключевые слова: безопасность полётов; заход самолета на посадку; глиссада; помехи.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2019 р.

Прийнято до друку 23.12.2019 р.