

УДК 629.735.33.073:656.052.5(045)

**Бабич Я.О.,
Бочелюк А.О.,
Полухін А.В., к.т.н.**

ОСОБЛИВОСТІ ЗАХОДУ НА ПОСАДКУ ЛІТАКА В РЕЖИМАХ АВТОМАТИЧНОГО ТА ШТУРВАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗСУВУ ВІТРУ

Національний авіаційний університет

pav@nau.edu.ua

Показано, що забезпечення безпеки польотів літаків на етапах заходу на посадку і посадки в умовах зсуву вітру є важливою та актуальною проблемою і потребує глибоких досліджень. Проведено дослідження динаміки польоту середньомагістрального літака на етапі заходу на посадку в умовах вертикального зсуву вітру

Ключові слова: літак, зсув вітру, захід на посадку, безпека польотів

Вступ

За інформацією Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО), однією з основних причин авіаційних катастроф на малих висотах є так званий зсув вітру. Виходячи з реального небезпечного впливу зсуву вітру на безпеку польотів, на Восьмій Аеронавігаційній конференції (Монреаль, 1974 р.) було прийнято рішення, спрямоване на підготовку необхідного інструктивного матеріалу щодо метеорологічних засад та методів виявлення зон зсуву вітру і протидії цьому атмосферному явищу [7].

Були розгорнуті чисельні наукові дослідження та експерименти, за підсумками яких була розроблена Поправка 64 до Додатку 3 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію «Метеорологічне забезпечення міжнародної аеронавігації», яка містить нові та оновлені діючі положення щодо виявлення зон зсуву вітру на малих висотах з використанням спеціального бортового та наземного обладнання [3].

Зазначимо, що протягом останніх 20 років досягнутий значний прогрес у розробці наземних та бортових систем, призначених для виявлення зон зсуву вітру. Також розроблені навчальні посібники для пілотів, які містять роз'яснення щодо метеорологічних засад та методів виявлення зон зсуву вітру та рекомендації з

техніки пілотування при попаданні в такі зони.

Постановка проблеми та її актуальність

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. Якщо врахувати, що тривалість етапів заходу на посадку і посадки у середньому не перевищує 3-4% часу польоту середньомагістрального літака, то стає зрозумілим, що рівень безпеки польоту на цих етапах у десятки разів менший, ніж рівень безпеки протягом усього польоту [8].

Й це не випадково, адже захід на посадку і посадка є найскладнішими етапами польоту, під час виконання яких відбуваються значні зміни швидкості, висоти, курсу літака, режимів роботи його двигунів, конфігурації з польотної на посадкову. Причому, усе це відбувається в умовах дефіциту часу на аналіз ситуації та прийняття екіпажем правильних рішень щодо управління літаком, що поглиблюється дією на малих висотах різноманітних атмосферних збурень, а також психологічним тиском на екіпаж фактору близькості землі та незначного запасу швидкості. Тому забезпечення безпеки польотів на етапах заходу на посадку і

посадки є надзвичайно важливою та актуальною проблемою і потребує глибоких досліджень.

Аналіз наукових праць, присвячених проблемі

Проблема зсуву вітру є багатогранною, тому її вирішення здійснюється за різними напрямками. Дослідженню багатьох аспектів цієї проблеми присвятили свої наукові праці українські та зарубіжні дослідники: Т.Буран, А.Васильєв, Ю.Доброленський, О.Жданов, А.Журавлев, П.Лазнюк, В.Ломовський, В.Максимов, М.Обідін, А.Обрубов, О.Трунов, А.Фуджито та інші.

У своїх працях зазначені та інші дослідники розглядають як теоретичні, так і практичні аспекти метеорологічних засад зсуву вітру та безпеки польотів в умовах його дії; розроблення та впровадження бортового і наземного обладнання для виявлення зон зсуву вітру; розроблення методик та навчальних посібників для навчання екіпажів літаків правильним діям при попаданні в зону цього небезпечного метеорологічного явища тощо.

Проте остання резонансна трагічна подія з літаком Boeing 737-800 авіакомпанії FlyDubai 19 березня 2016 року, який під час руху по глісаді в складних погодних умовах попав у зону зсуву вітру в аеропорту Ростов-на-Дону і зазнав катастрофи, свідчить про те, що проблеми, пов'язані з цим небезпечним атмосферним явищем, досліджені ще недостатньо повно.

Мета роботи

Метою даної роботи є дослідження впливу на динаміку польоту середньомаягістрального літака на етапі заходу на посадку за сигналами глісадного радіомаяка (ГРМ) в режимах автоматичного та штурвального управління вертикального зсуву вітру різної інтенсивності, а також часового запізнення втручання пілота в управління літаком після початку дії зсуву вітру.

Виклад основного матеріалу

Зсув вітру, як атмосферне явище, становить собою векторну різницю швидкостей вітру в двох точках повітряного простору, віднесена до відстані між ними. У залежності від просторової орієнтації двох точок, між якими визначається зсув вітру, він поділяється на вертикальний та горизонтальний. Вертикальним зсувом вітру називається зміна горизонтальної складової швидкості та/або напрямку вітру при зміні висоти польоту. Горизонтальним – зміна горизонтальної складової швидкості та/або напрямку вітру при зміні відстані вздовж напрямку польоту в горизонтальній площині [7].

За рекомендацією ІКАО прийнята така класифікація інтенсивності зсуву вітру (вертикального – на 30 м висоти, горизонтального – на 600 м відстані): слабкий зсув – 0-2 м/с, помірний зсув – 2-4 м/с, сильний зсув – 4-6 м/с, дуже сильний зсув – понад 6 м/с. Відповідно до встановлених ІКАО правил польотів, при інтенсивності зсуву вітру понад 5 м/с на 30 м висоти зліт та посадка повітряних суден забороняється [2].

Негативний вплив зсуву вітру на безпеку польоту літака проявляється в тому, що літак, завдяки своїй значній масі, має велику інерцію, яка не дозволяє йому миттєво збільшити або зменшити земну (шляхову) швидкість при зміні швидкості вітру, в той час як істинна повітряна швидкість змінюється відповідно до її зміни. У зв'язку з цим змінюються аеродинамічні сили та моменти літака і він відхиляється від заданої траєкторії польоту.

Відомо, що при розв'язанні навігаційних задач при польоті літака за маршрутом в умовах дії вітру для спрощення вважається, що істинна повітряна та земна (шляхова) швидкості змінюються одночасно та миттєво. Це припущення при польоті за маршрутом вносить незначні похибки в навігаційні обчислення, тому що період довгоперіодичних коливань літака та час їх затухання є значно мен-

шими в порівнянні з часом його польоту за маршрутом.

При заході ж на посадку та посадці літака в режимах як автоматичного, так і штурвального управління його час перебування на глісаді, наприклад, в умовах зсуву вітру співрозмірний з періодом його довгоперіодичних коливань та часом їх затухання. Тому дослідження впливу зсуву вітру на політ літака на цих етапах слід розглядати не при постійних значеннях істинної повітряної та земної (шляхової) швидкостей, а в динаміці, з урахуванням геометричних, масово-інерційних, аеродинамічних та пілотажних характеристик літака.

Зазначимо також, що на великих висотах польоту через наявність власної стійкості за швидкістю літак, маючи достатні запаси висоти, швидкості та часу, може за певний час самостійно, без втручання пілота, відновити вихідний режим польоту, порушений зміною істинної повітряної швидкості.

На етапі ж заходу на посадку, коли літак у посадковій конфігурації знаходиться на глісаді, значення його істинної повітряної швидкості та висоти польоту близькі до критичних, тому динаміка польоту літака на цих етапах є особливо чутливою до впливу такого небезпечного атмосферного явища, яким є зсув вітру. Адже у цьому випадку екіпаж обмежений у своїх діях запасами висоти та швидкості, а також прийомистістю двигунів при зміні їх сили тяги та дефіцитом часу для активної протидії негативному впливу зсуву вітру.

Дослідження показують, що динаміка польоту літака при заході на посадку в умовах зсуву вітру є достатньо складною і визначається одночасною дією багатьох чинників, зокрема, типом літака, його геометричними, масово-інерційними, аеродинамічними та пілотажними характеристиками, інтенсивністю та тривалістю дії зсуву вітру, своєчасністю та правильністю дій екіпажу при попаданні в зону його дії.

Для проведення дослідження впливу зсуву вітру на динаміку польоту середньомагістрального літака на етапі заходу на посадку і досягнення зазначеної вище мети досліджень авторами статті розроблена цифрова математична модель динаміки польоту літака, яка дозволяє дослідити процеси його автоматичної стабілізації на заданій висоті кола при довіпуску закрилків у посадкове положення перед входом у глісаду, «захвату» глісади та стабілізації літака на ній в режимах автоматичного управління з наступним переходом на режим штурвального управління після виходу на глісаду як в умовах спокійної атмосфери, так і вертикального зсуву вітру. У розробленій моделі також передбачена можливість проведення досліджень при різних кутах залягання глісади та значеннях крутизни сигналу тракту ГРМ-ГРП у діапазоні від мінімальної до максимальної.

Зазначена цифрова математична модель виконана за модульним принципом, що дозволяє швидко переходити від одного типу літака до іншого шляхом внесення відповідних змін в модулях геометричних, масово-інерційних, аеродинамічних характеристик літака, дросельних, висотно-швидкісних характеристик двигунів та в модулі законів системи автоматичного управління польотом.

Ураховуючи, що в процесі заходу літака на посадку за сигналами ГРМ параметри його польоту змінюються в незначних діапазонах відносно їх значень у вихідному збалансованому режимі, автори статті вважають за доцільне використовувати математичну модель динаміки польоту літака в повздовжній площині у вигляді такої системи лінійно-зованих диференціальних рівнянь [4]:

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

У наведеній вище системі лінеаризованих диференціальних рівнянь використовуються позначення параметрів польоту відповідно до вимог діючого в Україні стандарту [1].

При розробці математичної моделі та дослідженні динаміки польоту літака в умовах вертикального зсуву вітру було прийнято, що зміна швидкості вітру має лінійну залежність від висоти. Це обґрунтовується результатами метеорологічних досліджень, які свідчать, що нелінійна залежність зміни швидкості вітру від висоти є характерною, переважно, для гірської місцевості [6].

Під час проведення авторами статті досліджень процесу заходу середньомагістрального літака на посадку за сигналами ГРМ були прийняті такі вихідні значення його параметрів польоту: польотна вага – 73 тонни; центрівка – 24% САХ; задана висота кола – 500 м; задана істинна повітряна швидкість на висоті кола – 280 км/год, на глісаді – 270 км/год; початкова відстань від переднього торця злітно-посадкової смуги (ЗПС) – 13 км; кут залягання глісади – 2,67 град; крутизна сигналу тракту ГРМ-ГРП – 560 мкА/град.

Моделювання заходу літака на посадку здійснювалось відповідно до такої технологічної послідовності процесів: після виходу в площину посадкового курсу літак летить на висоті кола в режимі її автоматичної стабілізації з одночасною стабілізацією заданої приладової швидкості через автомат тяги; на відстані 3 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 висоти на режим автоматичної стабілізації на глісаді; на висоті 150 м режими автоматичної стабілізації на глісаді та заданої приладової швидкості відключаються і відбувається перехід на режим штурвального управління; починаючи з висоти 150 м, моделюється вертикальний зсув вітру заданої інтенсивності, а також різне часове запізнення втручання пілота в управління літаком після початку дії зсуву вітру.

Нижче наведено результати досліджень для різних умов заходу літака на посадку. Тонкою прямою лінією позначено глісаду.

На рис. 1 наведено траєкторію руху літака при автоматично керованому заході на посадку в умовах спокійної атмосфери до проходження ним переднього торця ЗПС на висоті 14 м.

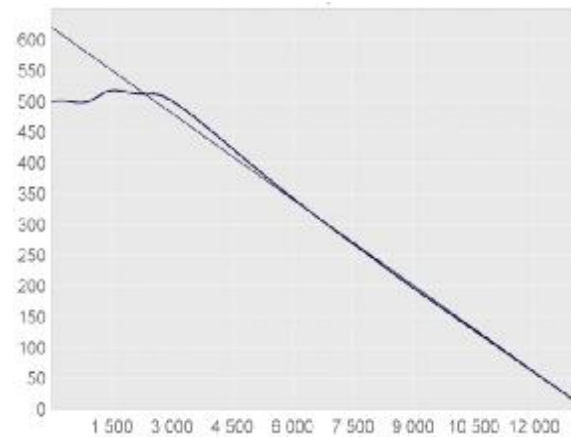


Рис. 1. Захід на посадку в умовах спокійної атмосфери

Процес заходу літака на посадку відповідає типовим вимогам щодо точності його стабілізації як на висоті кола, так і на глісаді [5]. Зокрема, при довипуску закрилків літак «спухає» відносно заданої висоти кола на 17,4 м. «Захват» глісади відбувається з одним перегулюванням по струму ГРП 65,2 мкА (менше допустимих 125 мкА). Літак стабілізується на глісаді з максимальним відхиленням від неї за струмом ГРП – 29,9 мкА (менше допустимих ± 55 мкА).

На рис. 2 наведено траєкторії руху літака при автоматично керованому заході на посадку до висоти 150 м з подаль-

шим зниженням по глісаді без втручання пілота в управління літаком в умовах дії додатного зсуву вітру різної інтенсивності (на 30 м висоти): зсув вітру відсутній (1), слабкий зсув вітру інтенсивністю 1 м/с (2), помірний – 3 м/с (3), сильний – 5 м/с (4).

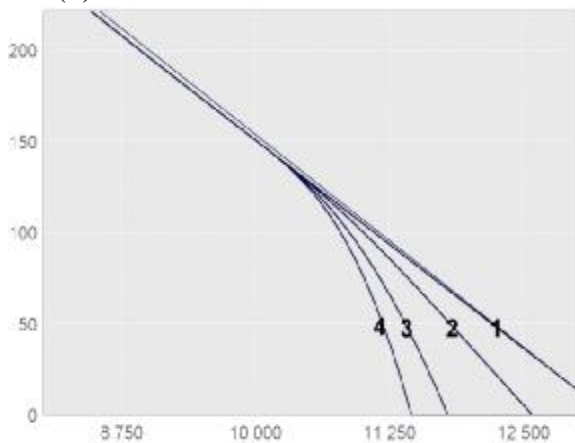


Рис. 2. Захід на посадку з додатним зсувом вітру

На рис. 3 наведено траєкторії руху літака при автоматично керованому заході на посадку до висоти 150 м з подальшим зниженням по глісаді без втручання пілота в управління літаком в умовах дії від'ємного зсуву вітру різної інтенсивності (на 30 м висоти): зсув вітру відсутній (1), слабкий зсув вітру інтенсивністю 1 м/с (2), помірний – 3 м/с (3), сильний – 5 м/с (4).

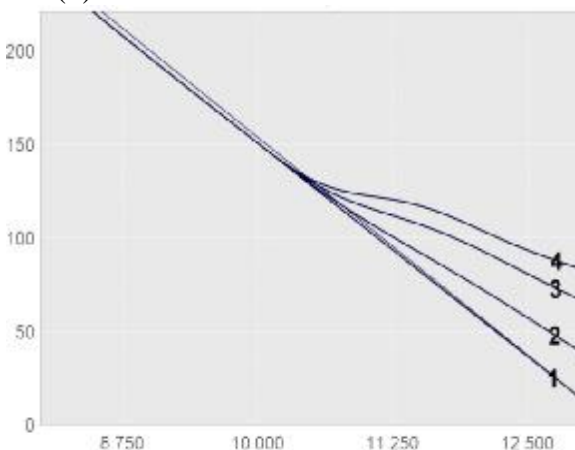


Рис. 3. Захід на посадку з від'ємним зсувом вітру

Результати досліджень, наведені на рис. 2-3, підтверджують основні тенденції поведінки літака при попаданні в зону зсуву вітру. Адже, якщо за відсутності

зсуву вітру літак проходить передній торць ЗПС на висоті глісади 14 м (1), то при дії додатного зсуву вітру (збільшення попутної швидкості вітру при зменшенні висоти) відбувається зменшення істинної повітряної швидкості, падіння піднімальної сили, «просадка» літака під глісаду і передчасне зіткнення з землею поверхнею на відстані 416 м до переднього торця ЗПС при слабкому зсуві вітру (2), 1206 м – при помірному (3) та 1550 м – при сильному (4). Причому, вертикальна швидкість зниження літака перед зіткненням з землею поверхнею сягнула при помірному зсуві вітру 12,3 м/с, а при сильному – 19,9 м/с.

При дії від'ємного зсуву вітру (зменшення попутної швидкості вітру при зменшенні висоти) відбувається збільшення істинної повітряної швидкості, зростання піднімальної сили, «спухання» літака над глісадою з наступним перельотом заданої точки приземлення на ЗПС. При цьому проліт переднього торця ЗПС відбувається на висоті 39 м при слабкому зсуві вітру (2), 67 м – при помірному (3) та 83 м – при сильному (4).

Звідси випливає, що найбільш небезпечним для безпеки польотів є додатний зсув вітру (збільшення попутної або зменшення зустрічної швидкості вітру при зменшенні висоти), тому що викликає ухід літака під глісаду з великою ймовірністю зіткнення його з землею поверхнею до ЗПС. При від'ємному зсуві вітру (зменшення попутної або збільшення зустрічної швидкості вітру при зменшенні висоти) літак летить вище глісади і пілот має запас по висоті, швидкості та часу, щоб відвести літак на друге коло.

На рис. 4 наведено траєкторії руху літака при автоматично керованому заході на посадку до висоти 150 м з подальшим зниженням по глісаді в режимі штурвального управління при дії додатного помірного зсуву вітру інтенсивністю 3 м/с на 30 м висоти, який починається на висоті 150 м, з різним часовим запізненням втручання пілота в управління після початку дії зсуву вітру.

Ситуація, коли початок дії зсуву вітру збігся в часі з моментом переходу з автоматичного управління рухом літака по глісаді на штурвальне, обрана для дослідження не випадково. Адже цей збіг є таким, що ускладнює процес заходу на посадку в умовах реального польоту, тому що при переході на штурвальне управління відбувається зміна сенсорно-розумової діяльності пілота на сенсорно-моторну, на що потрібен час при його дефіциті.

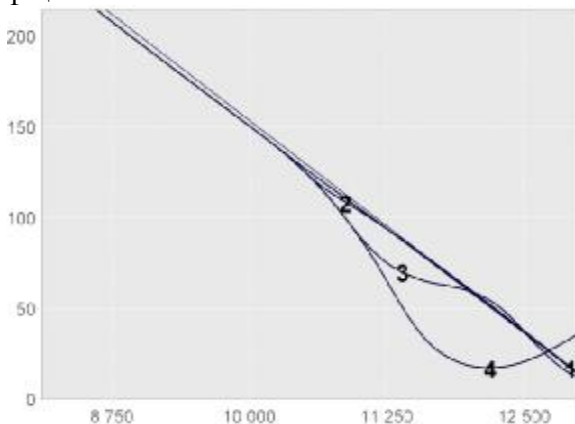


Рис. 4. Захід на посадку із запізненням втручання пілота в управління після початку зсуву вітру

За результатами дослідження встановлено, що при втручанні пілота в управління висотою та швидкістю польоту одночасно з початком дії зсуву вітру, літак продовжує знаходитися на глісаді до моменту прольоту переднього торця ЗПС (1). Вдається вивести літак на глісаду і при часовому запізненні втручання в управління величиною 5 с (2) та 10 с (3). Проте, якщо при запізненні 5 с максимальна «просадка» літака під глісаду, викликана зменшенням повітряної швидкості, становить – 5,7 м, то при запізненні 10 с становить уже – 20,3 м.

При запізненні величиною 15 с літак набуває значну втрату повітряної швидкості, висоти та велику вертикальну швидкість зниження, тому пілот вимушений встановленням злітного режиму роботи двигунів та відхиленням руля висоти на кабрирування припинити небезпечно зниження літака з уходом на друге коло. Причому, початок набору висоти літаком

через велику «просадку» настає лише на висоті 17,4 м, що створює загрозу його зіткнення з земною поверхнею (4).

При подальшому збільшенні величини часового запізнення у зв'язку з недостатнім запасом висоти ухід на друге коло є проблематичним.

Зазначимо, що керівні документи ICAO передбачають, що ухід літака на друге коло повинен починатися не нижче висоти прийняття рішення з номінальним градієнтом набору висоти 2,5% та з додержанням запасу висоти над перешкодами не менше 50 м [6]. При цьому зазначені документи не передбачають урахування втрати висоти при «просадці» літака в умовах додатного зсуву вітру, яка збільшується із збільшенням вертикальної швидкості зниження при запізненні втручання пілота в управління літаком.

Звідси випливає, що своєчасне втручання пілота в управління літаком при попаданні в зону зсуву вітру в умовах відсутності запасу висоти та швидкості і дефіциту часу на виявлення цього метеорологічного явища, аналіз його особливостей і прийняття рішення щодо подальшого управління літаком відіграє значну роль у забезпеченні безпеки польоту.

Зменшення часового запізнення пілота в управління літаком при зсуві вітру в реальних умовах забезпечується своєчасним його виявленням та правильними діями всього екіпажу, що досягається виконанням вимог нормативних документів та відпрацюванням техніки пілотування літака під час тренувань на тренажері.

Висновки

Зсув вітру є важкопрогнозованим атмосферним явищем, особливо небезпечним на таких етапах польоту літака, як зліт, захід на посадку і посадка, тому що значення його істинної повітряної швидкості та висоти польоту на цих етапах близькі до критичних, а екіпаж обмежений у своїх діях запасами висоти та швидкості, а також прийомистістю двигунів для зміни їх сили тяги та дефіцитом

часу для активної протидії цьому небезпечному атмосферному явищу.

Авторами статті розроблена цифрова математична модель динаміки польоту середньомагістрального літака, яка дозволяє моделювати його захід на посадку в режимах автоматичного та штурвального управління в умовах спокійної атмосфери та вертикального зсуву вітру різної інтенсивності.

Проведено дослідження впливу на динаміку польоту літака на етапі заходу на посадку додатного та від'ємного зсуву вітру різної інтенсивності, а також величини часового запізнення втручання пілота в управління після початку додатного зсуву вітру помірної інтенсивності.

Автори статті вважають, що окремі положення нормативних документів ІКАО, що стосуються правил виконання польотів в особливих умовах, зокрема, при уході на друге коло в умовах зсуву вітру, потребують уточнення та доповнення окремо для кожного класу літаків з урахуванням їх геометричних, масово-інерційних, аеродинамічних, пілотажних та інших характеристик.

Список літератури

1. ГОСТ 20058-80. Динамика полета летательных аппаратов в атмосфере. – М.: Изд-во Стандартов, 1980. – 51 с.

2. Журавлев А.И. Влияние сдвига ветра на взлет и посадку самолетов / А.И.Журавлев, О.К.Трунов // Методиче-

ские рекомендации для летного и диспетчерского состава гражданской авиации. М.: МГА, 1979. – 15 с.

3. Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации. Приложение 3 к Конвенции о международной гражданской авиации // Издание восемнадцатое (с поправками). Часть 1. Основные SARPS. Часть 2. Добавления и дополнения. ИКАО: 2013. – 222 с.

4. Михалев И.А. Системы автоматического управления самолетом / И.А. Михалев, Б.Н.Окоемов, И.Г.Павлина и др. М.: Машиностроение, 1971. – 464 с.

5. Михалев И.А. Системы автоматической посадки / И.А.Михалев, Б.Н.Окоемов, М.С.Чикулаев. М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.

6. Производство полетов воздушных судов // Издание пятое (с поправками). Doc 8168 OPS/611/ Том 1. Правила производства полетов. ИКАО: 2006. – 386.

7. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах // Издание первое (с поправками). Doc 9817 AN/449. ИКАО: 2005. – 264 с.

8. Statistics. Causes of Fatal Accidents. Fatalities by Phase of Flight.–URL: <http://www.planecrashinfo.com/cause.htm>.

Статтю подано до редакції 07.12.2017