

УДК 656.7.08

О.Н. Дмитриев, Т.Р. Буран

Кировоградская летная академия Национального авиационного университета, Кировоград

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОГО СДВИГА ВЕТРА

Решение проблемы безопасности полетов воздушных судов, при заходе на посадку и взлете, во многом зависит от учета влияния на исход полета внесистемного фактора, такого как, сдвиг ветра. Учет воздействия сдвига ветра на поведение воздушного судна предложено производить через понятие - профиль ветра. Дано определение критическому профилю сдвига ветра, а также определен метод поиска параметров сдвига ветра для критического профиля. Анализ влияния сдвига ветра на безопасность полетов, а также способ повышения безопасности полетов на этапах взлета и посадки, позволяет определить дальнейшие направления исследований в области повышения безопасности полетов воздушных судов в условиях сдвига ветра.

Ключевые слова: сложные метеоусловия, сдвиг ветра, безопасность полетов, лётные испытания.

Введение

Постановка проблемы. В настоящее время в нашей стране и за рубежом проводится большой объем исследований, направленных на повышение уровня безопасности полетов ВС на этапах взлёта и посадки, особенно в сложных метеоусловиях. Продолжающиеся авиационные происшествия (АП) по причине попадания воздушных судов (ВС) в сдвиг ветра (СВ) требуют поисков новых решений данной проблемы.

Анализ исследований. С 1943 г. в качестве причины ряда авиационных происшествий/инцидентов, в результате которых во всем мире в общей сложности погибло более 1400 человек, приводился сдвиг ветра на малых высотах. Возросшая осведомленность среди авиационных кругов в отношении опасного и коварного характера явления сдвига ветра на малых высотах нашло отражение в том факте, что это явление рассматривается Советом ИКАО в качестве одной из главных технических проблем, стоящих перед авиацией [1]. Поэтому за рубежом и у нас в стране проводятся интенсивные исследования вопросов обеспечения безопасности полетов (БП) воздушных судов в условиях СВ и других аномальных явлений атмосферы. Основываясь на анализе данных происшествий, которые произошли в период 2006–2011 годов [2], ИКАО установила три категории происшествий с высокой степенью риска: 1) события, связанные с безопасностью полетов; 2) потеря управляемости в полете LOC-I (Loss of control in-flight); 3) столкновение исправного воздушного судна с землей CFIT (Controlled flight into terrain).

АП связанные с LOC-I занимают 4% от АП, но по числу погибших имеют 32% от всех АП. Исходя из процентной доли всех происшествий высокого риска в 2012 г. приведенной в [2], можно сделать вывод, что в то время как доля категории, включающей потерю управления в полете, составляла только один процент от общего количества происшествий, эта категория вызывает особую обеспокоенность, поскольку на нее приходится 11 % от

всех авиационных происшествий с человеческими жертвами и 8 % от общего количества погибших.

Одним из факторов, способствующих развитию АП по причине LOC-I является сдвиг ветра (рис. 1), который особенно опасен для ВС с малым весом ввиду их малой инертности.

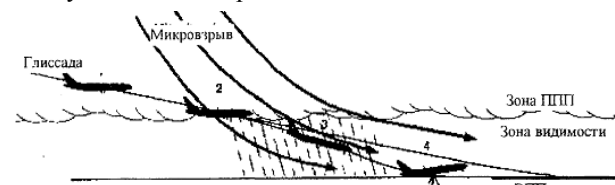


Рис. 1. Заход на посадку в условиях сдвига ветра

Так например, 28.05.14 катастрофа самолета Х-32 «Бекас» UP-LA001 авиакомпании «КазАвиа» Республики Казахстан в Алматинской области. АП произошло в результате вероятного попадания самолета в условия сильного сдвига ветра, что привело к падению скорости ВС, выходу на закритические углы атаки, сваливанию на правое крыло, входу в крутую спираль и столкновению с землей [3]. Следует отметить, что этот случай не является единственным. Несмотря на принятые меры безопасности и развитие различных систем, позволяющих предусматривать возможные проблемные ситуации в процессе полёта, мы все еще можем наблюдать возникновение АП. Также 07.05.09 произошла катастрофа Х-32 «Бекас», арендованного Государственной летной академией Украины для учебных полетов с курсантами, при попадании в спутный след ранее взлетевшего АН-32 вышел на закритические углы атаки, произошло «сваливание» ввиду малой высоты пилоты не смогли вывести самолет на нормальный режим полета.

Цель данной статьи – выявить метод позволяющий определить максимально-допустимые значения параметров СВ для широкого класса критических профилей ветровых возмущений, причина которых обусловлена разнообразными метеорологическими условиями их возникновения.

Изложение основного материала

Пилотируемый полет самолета является функционированием сложной системы «человек-машина», и от согласованности характеристик человека и техники в такой комплексной системе зависит уровень БП и эффективность ее работы. Изучение состояния системы «человек-машина» в полете представляет собой чрезвычайно сложную задачу, поэтому проведение таких исследований является дорогостоящим мероприятием, особенно если учесть статистический характер задачи [4]. Сейчас можно выделить три основных взаимодополняющих направления расчетных исследований летных характеристик и характеристик устойчивости и управляемости ВС на различных этапах полета: исследования с помощью аналитических методов; исследования на ЭВМ; исследования на пилотажных стендах с участием человека – оператора. В последние годы основное развитие получили методы исследования полета ВС в сложных метеоусловиях и при отказах авиационной техники (АТ) с помощью моделирования различных этапов полета самолета. Главная трудность при этом заключается в достоверном задании аэродинамических характеристик самолета и внешних метеоусловий (в частности, СВ), что очень часто не позволяет добиться удовлетворительного совпадения расчетных данных с результатами летных испытаний.

При исследованиях задач динамики полета и летных характеристик самолета в настоящее время широкое применение находят различные пилотажные стенды, и статистические методы. Для получения при исследованиях достоверных данных, требуется, чтобы по основным параметрам и режимам полета при многократных экспериментах была обеспечена хорошая повторяемость условий, что в полете практически невозможно осуществить, поэтому для исследований используются пилотажные стенды.

Результаты, получаемые в процессе моделирования полета ВС, можно разделить на две основные категории: объективные оценки, получаемые той или иной формализованной процедурой обработки эксперимента, и субъективные оценки, формулируемые пилотом. Необходимо отметить, что основной задачей моделирования динамики полета самолета с помощью вычислительной техники, как правило, является получение объективных оценок, а главной задачей моделирования движения самолета на пилотажных стендах можно считать получение субъективных оценок, даваемых пилотом или оператором.

В гражданской авиации накоплен значительный опыт разработки и применения математической модели (ММ) движения ВС. Однако этот опыт показал, что применявшиеся методики моделирования в основной своей части страдают отсутствием общности, хотя и позволяют решать отдельные частные задачи. Обращение к основам теории математиче-

ского моделирования позволило выявить недостаточный уровень математической строгости, который не соответствовал решаемым задачам. Анализ адекватности результатов расчетов реальному поведению ВС позволил выявить слабые места в большинстве разработанных ММ, в том числе, неудовлетворительное воспроизведение движения самолета по ВПП. Поэтому поиски ММ, пригодной для исследования на этапах взлета и посадки в условиях СВ, велись в направлении наибольшей адекватности, в том числе и при движении по ВПП.

Отказы АТ, внешние возмущения или ошибки пилотирования на предпосадочном снижении и при движении по ВПП могут сделать невозможным благополучное завершение посадки. Поэтому ММ должна адекватно воспроизводить целиком как этап захода на посадку, так и этап посадки с учетом не только факторов внешней среды, но и возможностей реального управления ВС, в том числе с отказами функциональных систем во всех каналах.

Для математической постановки задачи поиска допустимых значений параметров СВ сформулируем понятие критического профиля СВ (рис. 2).

Критический профиль СВ это ветровое возмущение такого профиля, которое при фиксированных значениях $\Delta W_{max} = W_{max} + W_{min}$ максимального перепада скорости ветра и $A = \max |\text{grad}W|$ – максимального значения модуля его градиента на заданном этапе управляемого полета самолета вызывает его максимальное отклонение от заданной траектории.

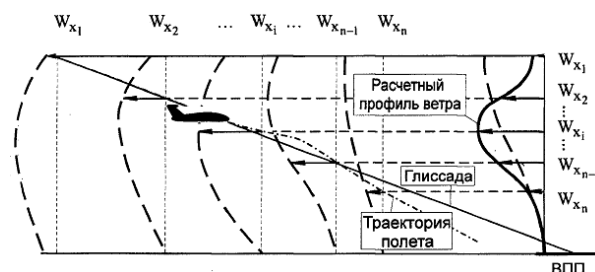


Рис. 2. Схема формирования профиля сдвига ветра

Таким образом, ветровое возмущение на заданном этапе полета будет характеризоваться формой его профиля и парой значений его характерных параметров (ΔW_{max} , A).

Задача определения допустимых значений параметров СВ на критическом профиле по своей природе является минимаксной: найти такую форму профиля ветрового возмущения СВ, на которой при минимальном значении A либо ΔW_{max} реализуются максимальные отклонения наблюдаемых параметров полета самолета от их программных значений, при этом хотя бы один из них выходит на границу области эксплуатационных ограничений, не нарушая ее.

Решение этой минимаксной задачи путем декомпозиции может быть сведено к последовательному решению ряда базовых задач условной пара-

метрической оптимизации. Сформулируем q -ю базовую оптимизационную задачу.

Пусть состояние системы «пилот – ВС – ветровое возмущение» описывается моделью [4]:

$\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{F}(t, \mathbf{z}, \mathbf{w})$, $\mathbf{z}(t_0) = \mathbf{z}_0$, $t \in [t_0, t_k]$; $\mathbf{z} = (\mathbf{x}, \mathbf{u})$, $\mathbf{F} = (\mathbf{f}, \mathbf{g})$, $y = h(\mathbf{z})$, где \mathbf{x} , \mathbf{u} – векторы фазовых координат самолета и системы автоматического управления (САУ); \mathbf{w} – вектор-функция внешних возмущений; \mathbf{f} , \mathbf{g} – вектор-функции правых частей дифференциальных уравнений, описывающих соответственно модель динамики полета самолета и функционирование САУ, \mathbf{z}_0 – вектор начальных условий; y – вектор наблюдаемых параметров, t – время.

Конечный момент времени t_k определяется первым выполнением одного из условий

$$\Phi_l [y(t_k), t_k] = 0, \quad l \in \overline{1, L}.$$

Профили ветровых возмущений

$$\mathbf{W} = \mathbf{W}(\mathcal{Z}), \quad \mathcal{Z} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$$

формируются в классе многопараметрических кривых по заданным алгоритмам; \mathcal{Z} – вектор параметров, определяющих профиль ветра.

Тогда для заданных значений $(\Delta W_{\max}^{(i)} A^{(i)})$ необходимо определить вектор \mathcal{Z} , минимизирующий функционал Q :

$$\mathcal{Z}^* = \operatorname{argmin} Q(y(\mathcal{Z})); \quad \mathcal{Z}^* \in \Omega_{\square}$$

при наличии ограничений

$$\varphi_n(\mathcal{Z}) \geq 0, \quad \mathbf{n} = \overline{1, n_1}, \quad \mathcal{Z} \in \Omega_{\square}$$

$$\varphi_n(y) \geq 0, \quad \mathbf{n} = \overline{(n_1 + 1, N)}, \quad y \in \Omega_y$$

$$|W_{\max} - W_{\min}| = \Delta, \quad \max |\operatorname{grad} W| = A^{(i)},$$

где Ω_{Δ} – гиперкуб поиска вектора параметров оптимизации \mathcal{Z} ; Ω_y – допустимая область эксплуатационных ограничений.

Сложность данной задачи приводит к необходимости разработки такого алгоритма формирования профиля ветра, в котором ограничения выполнялись бы автоматически и выработки такой стратегии поиска допустимых значений ΔW_{\max} и A , которая позволила бы перевести сформулированную задачу из класса условной оптимизации в класс безусловной оптимизации, что существенно упростит ее решение.

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОГО ЗСУВУ ВІТРУ

О.М. Дмитрієв, Т.Р. Буран

Рішення проблеми безпеки польотів повітряних суден, при заході на посадку і злеті, багато в чому залежить від ураховання впливу на результат польоту позасистемного фактора, такого як зрушення вітру. Врахування впливу зсуву вітру на поведінку повітряного судна запропоновано проводити через поняття - профіль вітру. Дано визначення критичного профілем зсуву вітру, а також визначено метод пошуку параметрів зсуву вітру для критичного профілю. Аналіз впливу зсуву вітру на безпеку польотів, а так само спосіб підвищення безпеку польотів на етапах зльоту і посадки, дозволяє визначити подальші напрямки досліджень в області підвищення безпеки польотів повітряних суден в умовах зсуву вітру.

Ключові слова: складні метеоумови, зсув вітру, безпека польотів, льотні випробування.

THE ALGORITHM FOR DETERMINING THE CRITICAL WIND SHEAR

O.N. Dmitriev, T.R. Buran

Addressing the safety of aircraft during landing and take-off, largely depends on the accounting impact on the outcome of the flight extra-systemic factors, such as wind shear. Accounting for the impact of wind shear on the behavior of the aircraft proposed to produce through the concept - wind profile. The definition of critical wind shear profile and a search method defined parameters for the critical wind shear profile. Analysis of the effect of wind shear on safety, as well as a way to improve safety during takeoff and landing, to determine the future directions of research in improving the safety of flights of aircraft in wind shear conditions.

Keywords: bad weather, wind shear, safety, flight tests.

Выводы

Изучению динамики движения воздушных судов при сдвиге ветра, определению рекомендаций членам экипажа, гарантирующих безопасность летной эксплуатации при попадании воздушного судна в область сдвига ветра, всегда уделялось должное внимание. За последние годы было разработано множество методов прогнозирования опасных метеоявлений в процессе полёта, однако экипаж до сих пор не имеет возможности располагать абсолютно точной и достоверной информацией о приближении сдвига ветра.

Одним немаловажным фактором является то, что каждый момент полета предельные значения сдвига ветра, при которых еще возможен благополучный исход полета, могут меняться, что усложняет задачу пилота. Поэтому, в силу многообразия факторов, вызывающих СВ, и отсутствие их физических моделей, особое внимание должно быть обращено исследованию критических профилей СВ.

Предлагаемый алгоритм позволит определить допустимые значения параметров СВ для широкого класса критических профилей ветровых возмущений, причина которых обусловлена разнообразными метеорологическими условиями их возникновения.

Список литературы

1. *Руководство по сдвигу ветра на малых высотах: [Электронный ресурс]. // ICAO. 2013. – Режим доступа: <http://www.aerohelp.ru/data/432/Doc9817.pdf>.*
2. *Руководство по сдвигу ветра на малых высотах: [Электронный ресурс]. // ICAO. 2013. Режим доступа: <http://www.aerohelp.ru/data/432/Doc9817.pdf>.*
3. *Состояние безопасности полетов в мире: [Электронный ресурс]. // ICAO. 2013. Режим доступа: http://www.icao.int/safety/.../SEPT2013_final_web.pdf.*
4. Шеридан Т.Е. Система человек – машина / Т.Е. Шеридан, У.Р. Феррел. – М.: Машиностроение, 1980. – 399 с.

Надійшла до редколегії 30.05.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Р.В. Хращевський, Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград.