

УДК 612.396

Обеспечение безопасности полётов летательных аппаратов в условиях вероятного обледенения

Первушин Р.В.

В статье приведен сравнительный анализ по определению групп метеорологических характеристик для оценки их информативности о состоянии атмосферы при явлении обледенения самолетов. Для эффективного дистанционного обнаружения зон вероятного обледенения летательных аппаратов обоснована необходимость модернизации существующих бортовых (активных) метеорадиолокаторов. Оценка эффективности полученной пассивно-активной системы и применяемого метода обнаружения опасных зон осуществлена через уменьшение неопределенности при переходе от одной системы к другой. При оценке меры неопределенности использована энтропия. Приведено обоснование выбора алгоритма обработки информации пассивно-активной радиолокационной системы для дистанционного обнаружения зон возможного обледенения летательных аппаратов. Основой алгоритма для выделения опасных зон использованы дискриминантные функции. Даны их сравнительные характеристики. Предложено применение нелинейной дискриминантной функции для обнаружения зон обледенения.

Ключевые слова: летательный аппарат, безопасность полетов, метеорологические условия, обледенение летательных аппаратов, пассивно-активная радиолокационная система, ПАРЛС, дискриминантная функция, оправдываемость алгоритма, эффективность обнаружения.

Ensuring aircraft safety in potential icing conditions

Pervushin R.V.

The paper presents a comparative analysis on identifying groups of meteorological parameters to assess their informational content on the state of the atmosphere in aircraft icing. For the effective remote detection of potential aircraft icing areas it is necessary to upgrade the existing board (active) meteorological radars. Estimating the effectiveness of the resulting passive-active system and the method of detecting dangerous areas is performed by reducing the uncertainty in the transition from one system to another. Entropy is used while assessing the level of uncertainty. The choice of processing algorithm of joint radiometric and radar system for remote detection of aircraft potential icing areas is reasoned. Discriminant functions serve as the basis of the algorithm for icing areas detection. Their relative characteristics are given. The application of non-linear discriminant function to detect icing areas is offered.

Keywords: aircraft, flight safety, weather conditions, aircraft icing, joint radiometric and radar systems, JRRS, discriminant function, the algorithm accuracy, detection efficiency.

Введение

Метеорологические условия оказывают существенное влияние на безопасность полётов всех видов авиационной техники. Статистической анализ имеющейся информации о летных происшествиях с летательными аппаратами, осуществленный по данным различных источников (включая отчеты МАК и ИСАО) показывает, что до четверти всех авиационных происшествий обусловлены метеорологическими условиями. Одним из опаснейших метеоявлений является обледенение летательных аппаратов, которое обусловлено наличием в атмосфере переохлажденной воды.

Как показано в [1], повысить безопасность полетов в условиях возможного обледенения позволяет модернизация бортовых метеорадиолокаторов. Это осуществляется путем внедрения в них пассивного (радиометрического) канала, т.е. создается пассивно-

рологическими условиями. Одним из опаснейших метеоявлений является обледенение летательных аппаратов, которое обусловлено наличием в атмосфере переохлажденной воды. Как показано в [1], повысить безопасность полетов в условиях возможного обледенения позволяет модернизация бортовых метеорадиолокаторов. Это осуществляется путем внедрения в них пассивного (радиометрического) канала, т.е. создается пассивно-

активный радиолокатор (ПАРЛС), повышающий эффективность обнаружения опасных для полета зон.

Однако объединение различных устройств в систему требует решения задач, которые уже были решены для каждого из устройств в отдельности, однако не решались применительно к новообразованной.

Важнейшей среди этих задач является вопрос вторичной обработки сигналов пассивного и активного каналов с целью получения оценки параметров метеообразования. Иначе говоря, необходимо решить задачу разработки алгоритма по обработке результатов совместных измерений.

Целью работы является сравнительный анализ существующих алгоритмов и синтез нового, позволяющего повысить достоверности выявления зон вероятного обледенения летательных аппаратов.

Алгоритмы выявления опасных зон

Решить поставленную задачу можно используя в качестве основы алгоритма обработки информации с ПАРЛС один из критериев распознавания опасных метеообъектов [1]. В подобные критерии входят значения различных метеопараметров атмосферы.

В работе [2] отобраны следующие 10 метеопараметров, которые предварительно оценивались с точки зрения их информативности и достаточно полной характеристики состояния атмосферы в облачных слоях с учетом физики явления обледенения: I – интенсивность обледенения; $H_{НГ}$ и δH – соответственно высота нижней границы и толщина слоя облаков; δH_0 – толщина слоя обледенения; $\bar{T}_0, \bar{u}_0, \bar{q}_0$ – средние значения соответственно температуры, относительной и удельной влажности в слое обледенения; $v_{НГ}$ – скорость ветра на нижней границе облаков; γ_T и γ_v – вертикальные градиенты температуры и векторной скорости ветра в слое облаков.

С целью установление количественных характеристик обледенения самолетов по данным о состоянии атмосферы в облачных слоях была сделана попытка, определять интенсивность обледенения числовыми значениями с помощью регрессивного анализа. Однако средние квадратические ошибки расчетов по уравнениям регрессии с двумя предикторами (наиболее тесной оказалась связь интенсивности обледенения с парными сочетаниями трех параметров: температуры, влажности и нижней границы облаков) оказались большими. Не привело к улучшению результатов и увеличение числа предикторов до трех.

Лучшие результаты получены с помощью линейных дискриминантных функций, дающих оценку интенсивности обледенения самолетов в градациях, т. е. в более общем виде. Отбор наиболее информативных параметров (их сочетаний по два) для построения дискриминантных функций производился с помощью регрессионного анализа и по расстоянию Махаланобиса [3].

Наиболее эффективно разделение зон возможного обледенения по интенсивности обледенения можно осуществлять с помощью следующих двух дискриминантных функций. Первая содержит два параметра атмосферы: высоту нижней границы облаков $H_{НГ}$ и температуру атмосферы T_0 на этой высоте [2]:

$$F_1 = -0,017H_{НГ} - 0,488T_0 + 0,875. \quad (1)$$

Если $F_1 \geq 0$ то интенсивность обледенения оценивается как высокая, в противном случае – низкая. Измерение параметров можно осуществлять с помощью шар-зондов контактным методом, однако, он является не оперативным.

В [3] описана методика, основанная на измерении влажности облака w и его температуры T на высоте полета, при этом дискриминантная функция имеет вид:

$$F_2 = -1,785w + 0,0312T + 0,4233, \quad (2)$$

где w – влажности облака;

T – температура воздуха на эшелоне полета.

или в нормированном виде

$$F_3 = -w + 0,0175T + 0,237. \quad (3)$$

Там же произведено сравнение эффективности этих двух методов прогнозирования возможного обледенения самолетов, которые заложены в приведенные выше алгоритмы (1) и (2). В качестве показателя эффективности использовано уменьшение неопределенности при переходе от одного количественного критерия к другому, а мерой неопределенности является энтропия. Результаты этих анализов для крайних значений корреляции между случайными величинами приведены в таблице 1, где $H(H_{HG}, T_0)$ – энтропия случайных величин H_{HG} и T_0 ; $H(w, T)$ – энтропия случайных величин w и T ; α – коэффициент корреляции между случайными величинами H_{HG} , T_0 и w , T соответственно.

Таблица 1

Энтропия	Значения энтропии (нит)	
	$\alpha = 0$	$\alpha = 1$
$H(H_{HG}, T_0)$	4,081	4,025
$H(w, T)$	3,407	3,356

Из приведенных результатов можно сделать вывод о целесообразности использования функции F_2 (F_3). При этом общая статистика, по которой проведен анализ, включает 767 случаев обледенения летательных аппаратов. Из них 329 случаев слабого обледенения, 320 – умеренного и 118 – сильного.

Анализ показывает, что применение линейного алгоритма выделения зон вероятного обледенения, позволяет достичь равной предупредительности слабого и сильного обледенения (достигающего значения 83%), но при этом обладают недостаточно высокой оправдываемостью по выделению зон с сильным обледенением. Очевидно, это объясняется тем, что в вероятную зону сильного обледенения, согласно линейным алгоритмам, попадают зоны, в которых обледенение теорети-

чески невозможны (например, зоны с положительными температурами).

Оправдываемость обледенения по алгоритму (3) можно увеличить при условии исключения из рассмотрения результатов слабого обледенения в пределах значений температуры от 0 до -1°C и влажности более $0,25 \text{ г/м}^3$ и при значениях температуры примерно от -13°C и ниже и влажности от $0,05 \text{ г/м}^3$ и менее:

$$F_4 = \begin{cases} w - 0,05 & \text{при } T < -13^\circ\text{C} \\ 1 - T & \text{при } w > 0,25 \text{ г/м}^3 \\ -w + 0,0175T + 0,237 & \text{при остальных } T \text{ и } w \end{cases} \quad (4)$$

Оправдываемость расчетов интенсивности обледенения с помощью скорректированного таким образом графика значительно возросла. Общая оправдываемость составила 90%; предупредительность обеих градаций интенсивности 90%. Однако при аппаратурной реализации устройства анализа такой алгоритм несколько громоздок.

Статистический анализ данных по обледенению летательных аппаратов, приведенных в [2], показывает, что линии раздела интенсивностей обледенения хорошо аппроксимируются экспоненциальной кривой вида

$$F_5 = -w + e^{0,029T}. \quad (5)$$

Применение нелинейного критерия (5) позволяет достичь оправдываемость сильного обледенения до 80%, общую оправдываемость до 85%, а предупредительность сильного обледенения достигает значения 91%.

Заключение

Таким образом, повышение надежности дистанционного обнаружения зон опасных для полетов летательных аппаратов различного класса выдвигает требование к модернизации самолетных метеонавигационных радиолокационных комплексов. Модернизация заключается в ведении в существующие радиолокаторы пассивного канала.

Предложенный алгоритм, основанный на нелинейной дискриминантной функции, обработки радиолокационной информации от ПАРЛС, разработанный автором, позволяет повысить эффективность обнаружения зон вероятного обледенения летательных аппаратов, прежде всего с сильным обледенением, а, следовательно, повысить безопасность полетов на всех стадиях.

Литература

1. *Первушин Р.В.* Пассивно-активные радиотехнические средства контроля метеорологических параметров: Дис. канд. тех. наук. – Владимир: 2007. – 151 с.
2. *Абрамович К.Г., Васильева Г.В., Прохорова В.М.* О прогнозе количественных характеристик обледенения самолетов // Труды Гидрометеоцентра СССР. Вып.176. – М.: Гидрометеоиздат, 1977. – С.76-85.
3. *Вимберг Г.П., Тарабукин И.А., Щукин Г.Г.* Оценка эффективности пассивно-активного радиолокационного метода определения средней влажности переохлажденных зон облаков для использования в прогнозе возможного обледенения самолетов // Труды ГГО. Вып.526. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – С.49-55.
4. *Первушин Р.В.* Повышение безопасности полетов летательных аппаратов в сложных метеорологических условиях // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2011, №3(10). – С.18-21.

References

1. *Pervushin R.V.* Passive-active radio resources of control meteorological parameters: Dissertation of the candidate of technical sciences. – Vladimir: 2007. – 151 p.
2. *Abramovich K.G., Vasilyev G.V., Prokhorova V.M.* About the prediction of quantitative characteristics of aircraft icing // Proceedings of the Hydrometeorological Center of the USSR. Issue 176. – Moscow: Gidrometeoizdat, 1977. – P.76-85.
3. *Vimberg G.P., Tarabukin I.A., Shchukin G.G.* Evaluating the effectiveness of the passive-active radar method for determining the average water content of supercooled cloud bands for use in the prediction of possible icing of aircraft // Proceedings of the GGO. Issue 526. – L. Gidrometeoizdat, 1988. – P.49-55.
4. *Pervushin R.V.* Improve safety of aircraft in adverse weather conditions // Engineering industry and life safety, 2011, № 3. – P.18-21.

Статья поступила в редакцию 10 апреля 2013 г.

Первушин Радислав Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». E-mail: prv@pochta.ru

Pervushin Radislav Valentinovich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University. E-mail: prv@pochta.ru