

УДК 612.396

## Повышение безопасности полётов летательных аппаратов в сложных метеорологических условиях

Первушин Р.В.

Проведено исследование пассивно-активных радиолокационных систем для дистанционного обнаружения зон обледенения летательных аппаратов. Предложено применение нелинейной дискриминантной функции для обнаружения зон обледенения. Даны сравнительные характеристики дискриминантных функций.

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

### Введение и постановка задачи

В процессе развития человечество выбрало индустриальный метод хозяйствования, что привело со временем к образованию глобальной техносферы, одним из элементов которой является транспорт. По данным МЧС авиационные катастрофы в 2010 г. по количеству техногенных ЧС заняли второе место после ДТП с тяжкими последствиями.

Авиационный транспорт является самым уязвимым, с точки зрения влияния метеорологических условий – до четверти всех авиационных происшествий связано с наличием зон дождя, града, возможного обледенения, сильный ветер и т.п. Последствия подобных происшествий могут наносить существенный вред экологии района аварии, а так же угрожать жизни пассажиров и жителей района аварии. Средства контроля метеорологической обстановки в зоне аэропорта или по трассе полёта самолёта являются важным элементом системы управления безопасностью движения воздушного транспорта.

В настоящее время обнаружение опасных, по метеорологическим показаниям, зон полётов в основном осуществляется в зоне действия служб аэропортов. Однако обледенение летательных аппаратов (ЛА) может происходить и на эшелоне полёта вне зоны указанных служб, причем обледенение самолета на больших высотах полета возможно в любое

время года. Согласно авиационным инструкциям [1] противообледенительную систему крыла и оперения при полете на эшелоне необходимо включать за 3÷5 мин до входа в зону возможного обледенения. Своевременное обнаружение таких зон является важнейшей функцией, возлагаемой на метеонавигационное оборудование (ЛН).

Целью работы является анализ возможности повышения достоверности выявления зон вероятного обледенения ЛА, используя совмещённые радиометрические и радиолокационные (пассивно-активных радиолокационных) методы и повышение на этой основе безопасности их полёта.

### Основной раздел

Решить задачу локализации зон возможного обледенения по радиолокационной картине можно используя в качестве информативного параметра значение водности облачной структуры.

Определить профиль водности облаков вдоль линии зондирования можно используя методы пассивно-активной радиолокации (ПАРЛ) [2]. В общем виде средняя водность облака  $\bar{w}(\vec{\ell})$  вдоль направления зондирования определяется по соотношению [3]

$$\bar{w}(\vec{\ell}) = \frac{W(\vec{\ell})}{L(\vec{\ell})}, \quad (1)$$

где  $W(\bar{\ell})$  - водозапас облака вдоль направления визирования, определяемый с помощью пассивного канала (радиометра);  $L(\bar{\ell})$  - протяжённость зондируемой зоны облака, определяемая с помощью активного канала (радиолокатора).

При использовании совмещённых пассивно-активных радиолокационных систем (ПАРЛС) проводятся измерения распределения радиолокационной отражаемости по трассе распространения зондирующего сигнала и оптической толщины метеообразований. Расчёт распределения водности удалённого на расстояние  $l$  от РЛС участка облака осуществляется по соотношению (для рабочей длины волны  $\lambda = 3,2$  см) [3]

$$w(l) = (1,89T + 54) \frac{\sqrt{Z(l)}}{\int_{R_1}^{R_2} \sqrt{Z(l)} dl} \tau_w, \quad (2)$$

где  $Z$  - радиолокационная отражаемость метеорологического объекта;  $\tau_w$  - оптическая толщина жидкокапельной влаги, характеризующая  $T_r$ .

Выявление зон вероятного обледенения самолётов обычно осуществляется с помощью дискриминантной функции по соотношению [4]

$$F_1 = -1,785w + 0,0312T + 0,4233, \quad (3)$$

где  $w$  - водность облака;  $T$  - температура соответствующей зоны.

При  $F_1 \geq 0$  принимается решение о средней или высокой степени возможного обледенения, при  $F_1 < 0$  - о низкой степени возможного обледенения.

Поскольку значения дискриминантных функций сравниваются с нулём, очевидно, целесообразно провести нормировку коэффициентов, например, относительно первого коэффициента. Тогда выражение (3) принимает вид:

$$F_3 = -w + 0,0057T + 0,176. \quad (4)$$

Вычисление по выражению (6) позволяет

снизить аппаратно-программные затраты спецвычислителя (обнаружителя).

Статистический анализ данных по обледенению летательных аппаратов [4], показывает, что линии раздела интенсивностей обледенения хорошо аппроксимируются нелинейными кривыми. Так, линия раздела умеренного обледенения, аппроксимируемая подобной кривой, позволяет вывести дискриминантную функцию, описываемую выражением

$$F_3 = (w - 0,05)(T - 1) + 0,45 \quad (5)$$

Применение нелинейного выражения (5) позволяет несколько увеличить оправдываемость сильного обледенения до 67%, общую оправдываемость - до 84%, а предупрежденность сильного обледенения достигает значения 91%.

При этом оправдываемость алгоритма для сильного обледенения определяется как отношение количества правильно определённых случаев сильного обледенения к количеству всех случаев обледенения, которые, согласно алгоритму, классифицируются как сильные. Аналогично, оправдываемость алгоритма для слабого обледенения определяется как отношение количества правильно определённых случаев слабых обледенений к числу всех случаев обледенения, которые, согласно алгоритму, классифицируются как слабые. Общая оправдываемость алгоритма определяется как отношение количества правильно классифицированных случаев обледенения к количеству всех случаев обледенения.

Иначе говоря, предупрежденность характеризует правильность классификации интенсивностей обледенения летательных аппаратов и, следовательно, общая предупрежденность совпадает по смыслу с общей оправдываемостью алгоритма.

Анализ показывает, что применение линейных алгоритмов выделения зон вероятного обледенения ЛА позволяет достичь равной предупрежденности слабого и сильного обледенения (достигающего значения 83%), но

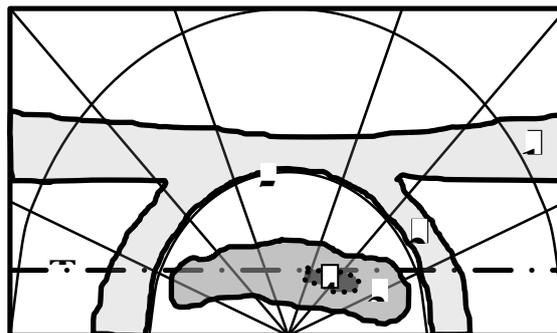
при этом обладают недостаточно высокой оправдываемостью по выделению зон с сильным обледенением. Очевидно, это объясняется тем, что в вероятную зону сильного обледенения, согласно линейным алгоритмам, попадают зоны, в которых обледенение теоретически невозможно (например, зоны с положительными температурами).

Численное моделирование с приведёнными выше выражениями и статистическими данными обледенения ЛА, приведёнными в [4], показывает, что изменяя величины численных коэффициентов можно манипулировать показателями оправдываемости и предупреждённости. Очевидна необходимость оптимизации соотношений между указанными показателями, так как улучшение одних ведёт к ухудшению других. Критериями оптимизации могут служить цена не предсказанного сильного обледенения и стоимость принятия мер по использованию тех или иных действий (обход опасной зоны, включение противообледенительной системы) в ситуации, когда слабое обледенение принято за сильное обледенение.

С другой стороны изменение численных коэффициентов позволяет получать адаптивные критерии. Причём адаптация может осуществляться как по мере набора общей статистики по обледенению ЛА на первом этапе, так и с последующей дифференциацией по дополнительным данным (высота полёта, тип ЛА, его скорость, климатическая зона полёта, особенности расположения аэродрома и т.д.).

Таким образом, синтез нелинейного алгоритма позволяет увеличить оправдываемость и предупреждённость обледенения ЛА.

В Муромском институте была разработана ПАРЛС на базе самолетного навигационного радиолокатора «Гроза». В ходе эксперимента, в соответствии с критерием (5) удалось выявить зону возможного обледенения, местоположение которых в границах исследуемого облака показано на рис. 1 (зона 4).



**Рис. 1** Отображение метеоцелей на экране ПАРЛС

- 1 – отражение от земной поверхности (главный лепесток);
- 2 – отражение от земной поверхности (боковые лепестки);
- 3 – отражение от облачного образования;
- 4 – зона возможного обледенения ЛА.

### Заключение

Таким образом, метод пассивно-активной метеорадиолокации и предложенный алгоритм классификации, разработанный автором, позволяют:

- выявлять зоны вероятного обледенения летательных аппаратов;
- повысить эффективность обнаружения зон вероятного обледенения ЛА, причем;
- создать адаптивные критерии выделения зон возможного обледенения ЛА;
- упростить выражения алгоритмов обнаружения.

Вышесказанное подтверждает не только актуальность проделанной работы, но и её перспективность. В дальнейшем, очевидно, следует оценить степень влияния точности постоянных численных коэффициентов в алгоритмах на показатели оправдываемости и предупреждённости; определить критерии оптимизации алгоритмов и их весовые коэффициенты; оптимизировать все параметры с точки зрения быстродействия алгоритма или стоимости аппаратной реализации.

### Литература

1. Аэродинамика // URL <http://pilotinfo.ru/Documents/Aerodynamics/ch11.htm>.

2. *Kostrov V.V., Bulkin V.V., Gineotis S.P., Pervushin R.V., Rakitin A.V.* The use of joint radiometric and radar systems for the enhancement of flight safety. // Proc. Int. Symp. Advanced Surface Movement Guidance and Control System. / Stuttgart, Germany, 21-24 June, 1999.

3. *Щукин Г.Г., Булкин В.В.* Метеорологические пассивно-активные радиолокационные системы. – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2009. – 166 с.

4. *Первушин Р.В., Щукин Г.Г., Сергеев Д.С.* К вопросу об анализе алгоритмов для выявления зон возможного обледенения летательных аппаратов на основе статистических данных // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2001. № 1. - С. 61-62.

**Статья поступила в редакцию 10 ноября 2011 г.**

The research of joint radiometric and radar systems for remote probing of aircraft zones icing has performed. The use of non-linear discriminant functions for detecting icing areas has proposed. The comparative characteristics of the discriminant functions has given.

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

*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»

УДК 502.5

## **Деграция эколого-экономических систем в условиях рыночной экономики**

Соловьев Л.П.

В работе рассматриваются вопросы деграции эколого-экономических систем в условиях рыночной экономики.

*Ключевые слова:* эколого-экономическая система, биосфера.

Рыночная экономика, которая на первом этапе развития капитализма путем свободной конкуренции решала задачи обеспечения людей качественными товарами и услугами, но, начиная с конца XIX – начала XX века превратилась в механизм бесконтрольного роста и получения максимальной прибыли. Деньги и другие денежные обязательства утратили свое назначение – эквивалента труда и произведенного продукта, а сами превратились в товар, став основой финансового рынка, который не отражает экономическое состояние

материального производства и в целом реальное состояние эколого-экономических систем [1]. В своей основе рыночная экономика неустойчива, а после образования финансового рынка неустойчивость рыночной системы резко возросла, что и иллюстрируется целым рядом экономических кризисов последних десятилетий.

Крайне негативно воздействие рыночной экономики на биосферу, рост экономики способствует разрушению биосферы, возможности большинства экосистем уже не