

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу Зябкина Сергея Алексеевича  
на тему «Модели и алгоритмы классификации зон вероятного обледенения  
воздушных судов гражданской авиации в районе аэродрома» на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6 «Аэронавигация и  
эксплуатация авиационной техники»

### **Актуальность диссертационной работы.**

Значительно повысить уровень безопасности полетов, особенно для таких важных этапов как взлет и посадка воздушного судна, можно за счет оснащения аэродромов гражданской авиации современными наземными аэродромными метеорологическими радиолокационными комплексами (АМРЛК), работающими в сантиметровом диапазоне длин волн. Их очевидное достоинство состоит, с одной стороны, в малогабаритности, с другой, в удовлетворении всех потребностей аэродромных метеослужб в обнаружении и регистрации опасных явлений погоды.

Опыт эксплуатации на ряде аэродромов гражданской и государственной авиации метеорологического радиолокационного комплекса «Монокль» показал, что в нем отсутствует функция классификации зон вероятного обледенения ВС, которая крайне необходима для предотвращения авиационных происшествий, связанных с обледенением воздушных судов.

Таким образом, актуальность диссертационной работы не вызывает сомнения. Автором на основе выявленных противоречий практического и научного характера в системе метеорологического обеспечения полетов верно сформулирована актуальная научно-техническая задача повышения ситуационной осведомлённости экипажей воздушных судов, диспетчеров управления воздушным движением и аэродромных служб о фактической метеообстановке в районе аэродрома, требующая разработки моделей и алгоритмов классификации зон вероятного обледенения воздушных судов гражданской авиации для использования в наземных АМРЛК.

**Оценка содержания диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения и приложений. Диссертационная работа хорошо структурирована.

**Во введении** обоснована актуальность темы, выявлены противоречия практического и научного характера в области метеорологического обеспечения полетов гражданской авиации, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, определены границы исследований, сформулированы положения, выносимые на защиту, и изложено краткое содержание диссертации.

**В первой главе** проведен анализ влияния метеообстановки и обледенения воздушных судов на безопасность полётов в районе аэродрома. Показано, как метеоусловия влияют на безопасность полётов. Проанализированы возможности современных средств и систем анализа метеообстановки в районе аэродрома. Выявлена роль метеорологической радиолокации в системе МОП ВС ГА, обоснована необходимость перехода к поляриметрической обработке при разработке перспективных АМРЛК. Сформулированы основные задачи исследования.

**Во второй главе** предложены адекватные математические модели первичной обработки АМРЛК при исследовании излучения от различных типов гидрометеоров в условиях потенциального существования зон вероятного обледенения воздушных судов в районе аэродрома. Рассмотрены частные модели размеров, ориентаций, форм и диэлектрического состава вещества гидрометеоров, а также модель отражений радиолокационных сигналов от гидрометеоров, описываемых этими моделями. На сформированной модели отражений реализован имитатор первичных поляриметрических продуктов АМРЛК и продемонстрирована его адекватность.

**В третьей главе** представлена разработка классификатора опасности обледенения. Ключевое место в главе занимает построение классификатора фазового состояния гидрометеоров на основе аппарата нечеткой логики. Предложен метод обучения разработанного нечетко-логического классификатора гидрометеоров на основе данных, сгенерированных при помощи имитатора первичных поляриметрических продуктов АМРЛК. Также произведена оценка повышения оправдываемости и достоверности классификации опасности обледенения ВС при применении разработанного алгоритма по сравнению с параметрическим алгоритмом.

**В четвертой главе** приведены рекомендации для практической реализации авторского метода классификации зон вероятного обледенения воздушных судов. Рассмотрены алгоритмы оценки опасности обледенения ВС и формирования контуров зон вероятного обледенения. Продemonстрирован предлагаемый автором вариант индикации карты опасных метеорологических явлений МРЛК БАЗ «Монокль».

**В заключении** работы приводятся основные результаты и выводы по диссертации.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

#### **Степень обоснованности и достоверности научных положений диссертации.**

В диссертационной работе представлено решение актуальной, имеющей важное значение для воздушного транспорта Российской Федерации, научно-технической задачи разработки моделей и алгоритмов классификации зон вероятного обледенения воздушных судов гражданской авиации в районе аэродрома.

Решение научно-технической задачи опиралось на проведенный и представленный в работе анализ метеоугроз и состояния метеообеспечения полетов воздушных судов в районе аэродрома, позволивший выявить:

- противоречие практического характера между отсутствием в отечественных разработках метеорологических радиолокационных комплексов возможности классификации зон вероятного обледенения и необходимостью повышения ситуационной осведомленности диспетчеров управления воздушным движением и экипажей воздушных судов (ВС) о зонах обледенения в районе аэродрома;

- противоречие научного характера между необходимостью обеспечения высокой достоверности классификации зон вероятного обледенения ВС в районе аэродрома с одной стороны, и отсутствием алгоритмов классификации зон вероятного обледенения ВС в перспективных АМРЛК, с другой стороны.

Разрешение названных противоречий решается в рамках разработки моделей и алгоритмов классификации зон вероятного обледенения воздушных судов гражданской авиации в районе аэродрома, которые базируются на основных положениях методов цифровой обработки сигналов, теории множеств, дискретной

математики, теории распознавания образов, нечеткой логики, теории ошибок, математического моделирования, теории вероятности и математической статистики.

**Достоверность и обоснованность результатов** диссертационной работы основана на корректном выборе моделей частных свойств гидрометеоров и исходных данных для моделей радиолокационных отражений от единичных гидрометеоров и ансамбля; демонстрации совпадения экспериментальных и данных имитационного моделирования радиолокационных поляриметрических продуктов; использовании корректного метода обучения алгоритмов нечетко-логической классификации гидрометеоров; корректном использовании методов цифровой обработки сигналов, теории множеств, дискретной математики, теории распознавания образов, нечеткой логики, теории ошибок, математического моделирования, теории вероятности и математической статистики.

Результаты диссертационного исследования неоднократно докладывались на научно-практических и научно-технических конференциях.

Основные результаты диссертационного исследования: опубликовано 11 печатных работ, в том числе: 3 научных статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Минобрнауки РФ; 8 научных статей и тезисов докладов, опубликованных в других изданиях; 1 отчет о НИР и 1 патент.

**Научная новизна работы** состоит в развитии теоретических методов метеорологической радиолокации применительно к аэронавигационному обеспечению полетов. В настоящей работе впервые:

1. Предложена математическая модель расчета амплитуд радиолокационных волн, отражённых от гидрометеоров, потенциально способных вызвать обледенение воздушных судов с применением метода Т-матриц, на базе которой предложена уникальная имитационная модель выходных данных поляриметрического аэродромного метеорологического радиолокационного комплекса при обработке отраженных сигналов от различных типов гидрометеоров, специфичных явлению вероятного обледенения воздушных судов;

2. Разработан уникальный нечетко-логический классификатор типов гидрометеоров для применения в перспективных АМРЛК сантиметрового диапазона длин волн, отличающийся от известных словарем входных признаков, алфавитом выходных классов, включающим капли дождя, ориентированные кристаллы льда, морось, сухой и мокрый снег и коэффициентами трапециевидных функций принадлежности;

3. Предложена методика обучения нечетко-логического классификатора типов гидрометеоров по радиолокационным данным сантиметрового диапазона длин волн, полученным при помощи имитационного моделирования;

4. Разработан уникальный алгоритм классификации зон вероятного обледенения воздушных судов для применения в аэродромных метеорологических радиолокационных комплексах на основе метода нечеткой логики.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.9.6 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники», а именно следующим пунктам раздела «Направления исследований» паспорта специальности:

п. 9 «Аэронавигационное обеспечение полётов, закономерности процессов навигации, управление движением отдельных воздушных судов и их потоков»;

п. 10 «Совершенствование методов использования воздушного пространства, средств радиосвязи, навигации и наблюдения для решения задач управления воздушным движением»;

п. 16 «Информационное обеспечение процессов аэронавигационного обеспечения полетов, контроля, испытаний, сертификации, использования по назначению, технического обслуживания и ремонта, транспортирования, списания и утилизации авиационной техники».

**Практическая значимость работы** состоит в том, что внедрение ее результатов в разработку существующих и перспективных АМРЛК позволит улучшить ситуационную осведомленность диспетчеров управления воздушным движением и экипажей ВС о зонах обледенения и повысить достоверность прогноза зон вероятного обледенения в районе аэродрома, и тем самым обеспечить заданный уровень безопасности полетов в ближней аэродромной зоне.

**Самостоятельную практическую значимость имеет:**

- программная реализация алгоритма имитации метеорологической обстановки в условиях явления вероятного обледенения ВС на основе расчета амплитуд радиоволн, отраженных от ансамбля сфероидных гидрометеоров;

- программная реализация алгоритма классификации зон вероятного обледенения воздушных судов для перспективного АМРЛК типа «Монокль».

**Научная значимость работы** заключается в разработке новых моделей и алгоритмов классификации зон вероятного обледенения воздушных судов, позволяющих проводить исследования явления вероятного обледенения ВС в слоистых и слоистообразных облаках в условиях различных синоптических ситуаций, местных особенностей и циркуляций, а также в развитии научно-методического аппарата классификации опасных для авиации метеоявлений при использовании АМРЛК.

**К недостаткам диссертационной работы** можно отнести следующее:

1. В первой главе указано, что при анализе явления обледенения, наибольшую опасность для гражданской авиации представляет наличие переохлажденной жидкости в слоистообразных и кучевых облаках. После этого без дополнительных комментариев или описания причин автор ограничивает исследование анализом только слоистообразных облаков, практически игнорируя кучевые.

2. Во второй главе в пункте 1 (стр. 48) автором для расчета диэлектрического состава вещества предлагается представлять мокрый снег в виде трехкомпонентной смеси из льда, воды и воздуха, однако автором не приведены ссылки на исследования, подтверждающие данную гипотезу.

3. На рис. 28 используется сокращение ПМРЛК БАЗ. По смыслу понятно, что автор говорит о поляриметрическом метеорологическом комплексе, однако расшифровки аббревиатуры в тексте диссертации не приводится.

4. В 4 главе начиная со стр. 114 автором рассматривается модификации по структуре обработки информации типичного АРМЛК для добавления возможности классификации зон вероятного обледенения ВС на основе МРЛК БАЗ «Монокль», выбор которого в качестве типичного АРМРЛК автором не обоснован.

Указанные замечания и недостатки не снижают положительной оценки представленной диссертационной работы и ее научно-практической значимости.

**Заключение о соответствии диссертационной работы установленным требованиям.** Диссертация Зябкина С. А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем требованиям п. п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 01.10.2018), а также удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Зябкин Сергей Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.6 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники».

**Официальный оппонент,**

доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

« 4 » 09 2023 г.



И.Н. Ростокин

Ростокин Илья Николаевич

Доктор технических наук (05.11.13 - «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»), профессор кафедры «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Адрес: 602264, г. Муром, Владимирская область, ул. Орловская, 23, МИ ВлГУ, каф. УКТС.

Тел.: 8 (49234) 77239, e-mail: rostockin.ilya@yandex.ru

Подпись профессора кафедры УКТС МИ ВлГУ  
д.т.н., доцента И.Н. Ростокина заверяю  
Ученый секретарь ученого совета МИ ВлГУ



О.Н. Полулях