

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Торгунакова Романа Евгеньевича «Разработка и исследование методов измерения электрических полей атмосферы при помощи летательных аппаратов и их применение при анализе данных контроля электрического состояния облаков», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «1.6.18. Науки об атмосфере и климате»

Актуальность избранной темы

Диссертационная работа Торгунакова Романа Евгеньевича посвящена актуальной научно-технической проблеме – разработке методов калибровки систем измерителей, обработке и анализу данных измерений напряженности электрического поля и исследованию электрических полей облачной среды атмосферы при помощи различных летательных аппаратов. Решение такой задачи весьма востребовано, учитывая развивающийся трафик пассажирских и грузовых авиаперевозок. И настолько же она является комплексной и сложной, в том числе из-за сильного искажения электрического поля собственным зарядом, наводимым самолетом.

Прямое и точное измерение напряженности электрического поля в облаках различного типа с помощью специализированных флюксометров необходимо для исследования грозового электричества, и, в частности, для прогноза гроз. Точный расчет калибровочных коэффициентов позволит сократить количество специальных дорогостоящих полетов, необходимое для их корректировки.

Во введении диссертации раскрывается суть исследования, его цели и задачи, использованные методы, научная новизна и положения, выносимые на защиту. Также приводится список основных публикаций по теме диссертации и конференций, где докладывались наиболее значимые результаты.

Целью диссертационной работы является дальнейшее развитие методов измерений электрических полей в атмосфере с помощью летательных аппаратов, и минимизация погрешностей их измерений, что открывает новые возможности в получении уточненных данных об электрических полях в облаках.

Поставленная задача решается путем разработки физико-математических моделей расчета зарядов летательных аппаратов и электрических полей, создаваемых летательным аппаратом; расчета калибровочных характеристик самолетных измерителей на основе данных компьютерного моделирования. Также анализируются данные самолетных измерений электрических характеристик в реальной облачной атмосфере в конвективных, высокослоистых и перисто-слоистых облаках и результаты сравниваются с расчетными.

Научной новизной является, во-первых, то, что, по мнению диссертанта, в других исследованиях не учитывается собственный заряд летательного аппарата, во-вторых, предложена новая методика, основанная на теоретическом моделировании собственного заряда самолета, на поиске электрических нейтралей заряда на корпусе самолета, и логично вытекающая отсюда оптимизация размещения датчиков напряженности электрического поля на корпусе самолета. Это, в итоге применяется для расчета калибровочных коэффициентов для датчиков напряженности поля, установленных на самолете. При помощи разработанной методики вычислены матрицы калибровочных коэффициентов и

осуществлен анализ результатов исследований электрических полей и заряда летательного аппарата, полученных при помощи самолетов Ил-14, Як-42Д «РОСГИДРОМЕТ» и Ан-12 и т.д.

В первой главе рассматриваются теоретические аспекты электризации облака, механизмы разделения зарядов, методы измерения потенциала поля. Далее рассматриваются механизмы заряжения поверхности самолета при полете в облачной среде, в частности в потоке капель.

Далее описываются методы измерения электрических полей на летательных аппаратах, включая аэростаты, планеры и самолеты. Утверждается, что наиболее точным прибором для измерений является электростатический флюксметр, а для определения калибровочных коэффициентов наиболее точным и приемлемым способом является компьютерное моделирование.

Во второй главе описываются основы измерения напряженности электрического поля и заряда летательного аппарата, приводится обоснование оптимального количества флюксметров на борту самолета, методика калибровки между напряженностью электрического поля и выходными сигналами флюксметров. Затем делается оценка погрешностей измерения напряженности электрического поля и заряда летательного аппарата от значений на выходе датчиков, относительной погрешности измерений напряженности электрического поля от заряда самолета. Далее описываются алгоритм и методики измерения напряженности электрического поля и заряда летательного аппарата. Приводится блок-схема алгоритма, одной из подзадач которой являлось создание трехмерных моделей самолетов Ил-14 и Як-42Д, с чем диссертант успешно справился на основе пакетов программ AutoCad и SolidWorks. Для расчета статических, гармонических электромагнитных и электрических полей использован электростатический решатель Electrostatic Solver пакета программ ANSYS Maxwell, базирующегося на методе конечных элементов, адаптирующихся расчетных сеток и других инженерных алгоритмах. Для этого применяется полная система уравнений Максвелла – Лоренца. Адаптация пространственной сетки или сгущение сетки происходит в локальных зонах высоких градиентов физических величин. После каждой численной итерации проверяется погрешность, и при необходимости расчетная сетка уточняется. Затем приводятся расчеты максимальных и минимальных величин напряженности электрического поля и поверхностной плотности заряда в зависимости от направления приложенного электрического поля для избранных деталей аппаратов.

В третьей главе приводятся аналогичные расчеты для беспилотного летательного аппарата MALE самолетного типа. Обсуждаются перспективы его применения для измерения электрических параметров атмосферы, преимущества в сравнении с пилотируемыми аппаратами. Производится сопоставление поверхностной плотности заряда и напряженности электрического поля Ил-14, Як-42Д и БПЛА, которое показало, что максимумы и минимумы распределения поверхностных зарядов имеют схожий порядок величин и зависят в основном от особенностей общей и локальной геометрии поверхности, таких как удлинение фюзеляжа и крыла, радиусы закругления законцовок оперения и т.п. Получены важные выводы об оптимальном размещении датчиков в местах пересечения электронейтралей в средней части центроплана.

В четвертой главе исследуются данные натуральных самолетных измерений, выполненных в 1960-1990 годах специалистами ГГО. Рассмотрены случаи пролета сквозь гряду конвективных облаков Cu Cong, находящихся в квазистабильной стадии развития и имевших вертикальную протяженность около 1.5 – 2 км, а также более мощных конвективных облаков типа Сb. Суммарный объем рассмотренных данных составляет 321 км полета в 26 конвективных облаках. Было обработано 3060 измерений, данные записывались с интервалом в 1 секунду. Здесь важно отметить прежде, чем обрабатывать данные, диссертант произвел их корректировку на основе полученных им калибровочных коэффициентов, что, по его мнению, повысило их точность на десятки и более процентов.

В частности, обнаружена тенденция к увеличению по модулю напряженности поля и заряда самолета при повышении влажности, однако корреляции оказались слабыми – минус 0,46 и минус 0,47 соответственно. Существенной корреляции вертикальной составляющей напряженности поля и заряда со скоростью восходящих потоков или перегревом облака обнаружено не было.

Далее приводятся некоторые результаты радиолокационных исследований электрических характеристик облаков, недавно полученные в ГГО. Заканчивается глава анализом результатов летного эксперимента самолета-лаборатории Як-42Д в высокостроистых и перисто-слоистых облаках. В частности, была обнаружена слабая корреляция напряженности электрического поля и заряда самолета с температурой окружающего воздуха в облаках As.

Общая характеристика диссертации

Таким образом, проведено сложное и многофакторное исследование, призванное внести больше ясности и точности в измерения электрических полей в реальной атмосфере и облаках, с применением современных физико-математических методов и средств, с учетом реальных технических особенностей летательных аппаратов и датчиков. В этом смысле, работа является и фундаментальной, и прикладной одновременно. Выполнен расчет напряженности электрического поля и заряда самолета в конвективных, высокостроистых и перисто-слоистых облаках, полученных в ходе летных работ с использованием самолетов-лабораторий Ил-14 и Як-42Д, на основе калибровочных коэффициентов, полученных в результате компьютерного моделирования. Выполнены обобщение и анализ результатов исследований напряженности поля и заряда летательного аппарата, полученных в результате летных работ в период с 1961 г по 1990 г и в 2014 г, в том числе при помощи самолетов Ил-14, Ту-104, Ан-12, Як-42Д.

При общей положительной оценке диссертационной работы имеются следующие **замечания и рекомендации:**

1) На стр. 4 автореферата и стр. 7 диссертации говорится про предметы и объекты исследования, однако, приведенные формулировки очень близки по смыслу друг с другом. Вероятно, надо более конкретно указать методы и результаты в предметах исследования, чтобы был более понятен смысл, заложенный диссертантом в эти определения.

2) В разделе «положения, выносимые на защиту» говорится, что БПЛА могут применяться для исследования характеристик электрических полей. Несмотря на очевидность такого заявления, на наш взгляд, оно больше является выводом диссертации, нежели положением. Согласно определениям ВАК положения, выносимые на защиту, должны обладать научной новизной и являться вкладом в науку автора диссертации.

3) На стр. 14-15 автореферата приводятся данные о напряженности электрического поля 4 облаков типа Cu Cong. Значения на уровне 250 В/м представляются довольно слабыми. По некоторым литературным сведениям, напряженность электрического поля атмосферы хорошей погоды может составлять 100-150 В/м и более. Возможно также, что это была самая ранняя стадия развития конвективных облаков.

4) Диаграммы 9 и 10 в автореферате показали слабую зависимость вертикальной составляющей электрического поля и заряда самолета от водности облака в связи с чем ценность таких диаграмм вызывает сомнение. Возможно, в качестве независимой переменной следовало бы искать некие комплексные параметры, которые могли бы лучше коррелировать с анализируемыми экспериментальными данными. То же самое относится и к диаграммам 15 - 16.

5) Электрические нейтралы, как следует из текста диссертации, рассчитываются при однородном или отсутствующем внешнем электрическом поле, окружающем летательный аппарат. Как обстоит дело с однородностью поля при полете, например, сквозь конвективные облака типа Cu Cong и Cumulonimbus? Будут ли эти нейтралы смещаться относительно рассчитанных и как это отразится на калибровочных коэффициентах?

6) Теоретическая модель, по мнению диссертанта, позволяет рассчитать собственный заряд самолета при условии нейтральной среды, где он пролетает, и затем учитывать этот заряд при обработке измерений датчиков электрического поля. Не совсем понятно, является ли рассчитанный заряд самолета величиной, мало зависящей от скорости полета, температуры и влажности, аэрозольного состава и других параметров среды, в которой пролетает самолет? Если такая зависимость имеется, то предлагаемые статические поля заряда самолета могут быть неточными в каждой конкретной ситуации.

7) Вывод о том, что обнаружена тенденция к увеличению напряженности электрического поля и заряда самолета с увеличением водности в конвективных облаках закономерен. Чем больше облачных частиц участвует в формировании заряда, тем больше сам заряд и наводимые им электрические поля. Вывод же о том, что напряженность электрического поля и заряд самолета ослабевают с уменьшением температуры окружающего воздуха, вызывает у нас много вопросов, о чем свидетельствует низкая корреляция. Проанализированный узкий диапазон температур от -6.3 до -7.2 градуса представляется слишком маленьким для таких выводов, требуется более обширный статистический материал.

8) Чем объясняется двух-модальность распределения среднего значения модуля вектора напряженности поля в облаках Cb (рис. 53)? Такой же вопрос применим и к рис. 54 для распределения среднего значения заряда самолета.

9) Блок радиолокационных исследований электрических характеристик облаков, приведенный в главе 4, на наш взгляд, носит больше информативный характер и мало связан с основным материалом диссертации.

10) Имеются отдельные грамматические ошибки в тексте диссертации (стр. 4 – «...*образования* облаков», стр. 41 – “*Входные* данными”, “*Выходным* данными алгоритма”). Стр . 98 – «Диаграммы размаха средних значений напряженности поля и ЛА самолета...» (пропущено «заряда»).

Указанные замечания не влияют на основные результаты работы и не умаляют ее научную и практическую значимость.

Автореферат диссертации и публикации полностью отражают основные положения и выводы работы.

Личный вклад соискателя заключается в предложенной им методике корректировки показаний электростатических флюксометров на борту и корпусе летательных аппаратов, основанной на калибровочных коэффициентах, полученных при определенных допущениях о внешнем электрическом поле и среды, а также с учетом реальной формы летательного аппарата. Это позволило произвести реанализ измерений, накопленных в различных летных экспериментах в нашей стране за более, чем 30 лет. И что очень важно, уточненные Торгунаковым Р.Е. материалы согласуются с другими отечественными и зарубежными исследованиями.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации вполне обоснованы, хорошо проработаны и могут проверяться в последующих летных компаниях.

Заключение

Диссертационная работы Торгунакова Р.Е. «Разработка и исследование методов измерения электрических полей атмосферы при помощи летательных аппаратов и их применение при анализе данных контроля электрического состояния облаков» и автореферат удовлетворяют требованиям пунктов 9, 10, 11 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, в редакции от 30.07.2024 г., предъявляемым к диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент:

Абшаев Али Магометович

Доктор физико-математических наук, доцент, 25.00.30 – «метеорология, климатология, агрометеорология».

Директор «Научно-Производственного Центра «Антиград»,

Тел.: +7(928)694-41-99

E-mail: Abshaev.ali@hsrc-antigrad.com

Адрес: 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, д. 198.

Я, Абшаев Али Магометович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



/ Абшаев А.М. /

Подпись официального оппонента заверяю:

Юрист-консультант

09.09.2024 г.

/ М.М. Гыллыева /