



Аспекты безопасности полетов БПЛА от столкновений в воздухе

Лебедев Б.В.

Что ограничивает применение БПЛА



Говоря о **рынке БПЛА** надо начинать с анализа рынка **услуг**, оказываемых с помощью БПЛА. Они ограничиваются проблемами использования воздушного пространства, т.е. обеспечения бесконфликтности.

**Возможности
поставщика**

**Пропускная способность
воздушного пространства**

**Потребности
заказчика**

Опыт сокращения интервалов вертикального эшелонирования (RVSM)



Работа проводилась в масштабах ИКАО.

Цель – вдвое увеличить пропускную способность воздушного пространства и уменьшить ограничения для выбора оптимальных параметров полета.

Этапы работы:

- Назначение целевого уровня безопасности и разработка математической модели для оценки вероятности столкновений
- Назначение минимальных требований к самолетам
- Сбор статистики по погрешностям выдерживания высоты
- Выполнение расчетов по оценке риска столкновений
- Налаживание мониторинга уровня безопасности

Продолжительность работы:

- Начало исследований – 70-е годы
- Внедрение в РФ – 2011 год

Основная идея математической модели



Условия столкновения: одновременное сближение в вертикальной и горизонтальной плоскости до размеров самолета.

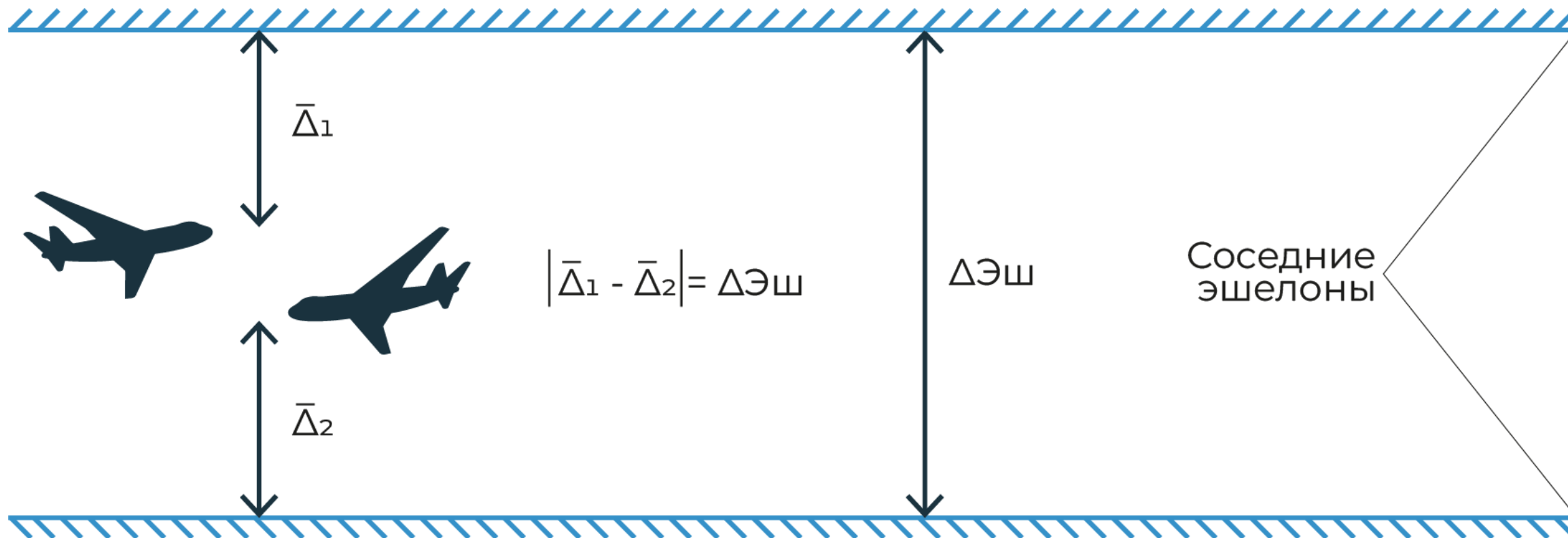
Итоговая погрешность на борту – свертка погрешностей измерения и выдерживания высоты.

Вероятность перекрытия в вертикальной плоскости – свертка плотностей распределения погрешностей встречных самолетов при аргументе, равном интервалу эшелонирования, умноженная на размеры самолета (основную роль играют «хвосты» распределений – маловероятные большие погрешности), а также ошибки диспетчера (назначение встречным самолетам одинакового эшелона).

Оценка вероятности перекрытия

$\Delta Эш$ – интервал эшелонирования

$\Delta 1, \Delta 2$ – погрешности выдерживания высоты двух самолётов с учётом знака



Оценка вероятности перекрытия

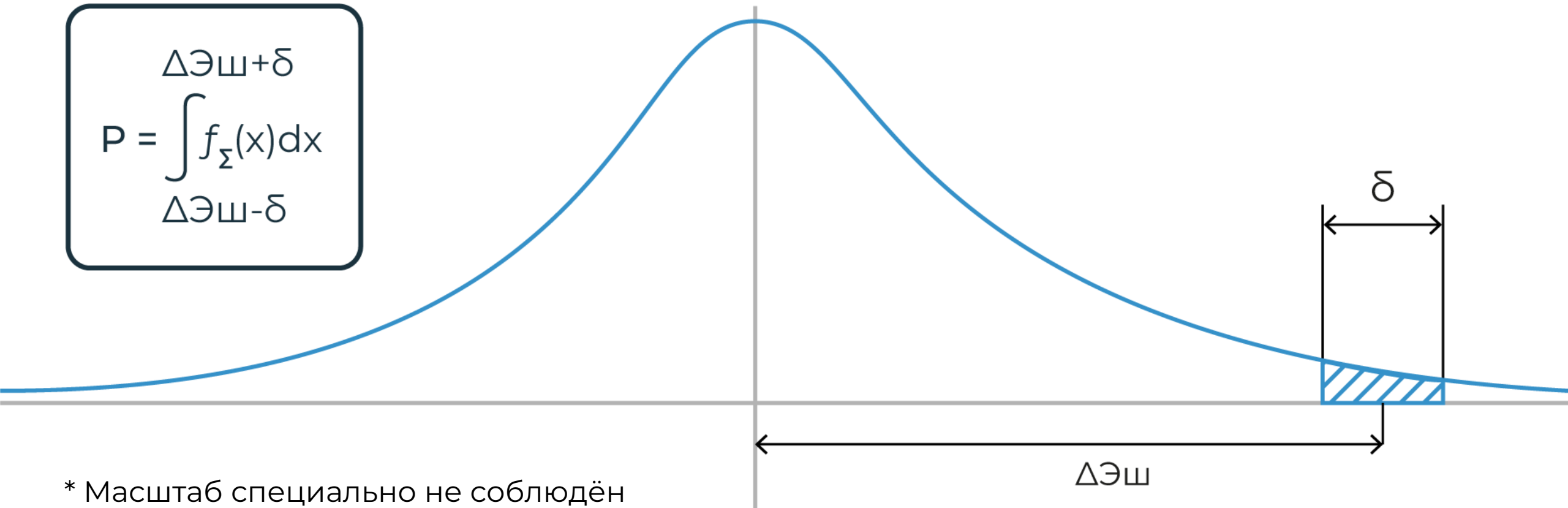
$\Delta Эш$ – интервал эшелонирования

δ – размер самолёта

$f_{\Sigma}(x)$ – свертка плотности распределения погрешностей двух самолётов

P – вероятность перекрытия

$$P = \int_{\Delta Эш - \delta}^{\Delta Эш + \delta} f_{\Sigma}(x) dx$$



* Масштаб специально не соблюлён

Назначение минимальных требований к самолетам



Ошибки пилотирования отслеживаются диспетчером с помощью вторичного радиолокатора.

Ошибка измерения высоты **обманывает всех**

- Пилота
- Диспетчера
- Систему предотвращения столкновений

Трёхкратное резервирование измерителей барометрической высоты.

Троекратное резервирование приемников статического давления нереализуемо, что потребовало необходимость специальных мер по систематическому **мониторингу их работы** в штатных полетах с пассажирами.

Сбор статистики по погрешностям выдерживания высоты



Для получения представлений о «хвостах» распределений погрешностей до принятия решения о сокращении интервалов эшелонирования потребовался **огромный объем статистики**.

Статистику собирали в полетах с пассажирами; необходимая исходная информация:

- Геометрическая высота полета (спутниковая навигация с функциональными дополнениями или мультилатерация)
- **Прецизионные** метеорологические данные об атмосферном давлении на данной высоте
- Показания бортового барометрического высотомера

Налаживание мониторинга уровня безопасности



Кроме собранной на начальном этапе статистики необходимо непрерывное обновление данных.

Определенная доля парка каждой авиакомпании регулярно подвергается мониторингу по методике, рассмотренной выше.

При выявлении аномалий авиакомпания получает указания устранить их причину.

При усовершенствованных методах статистической обработки можно без серьезных затрат:

- понизить требования к эталонной геометрической высоте и метеоданным
- увеличить долю парка, подвергающегося мониторингу

Применимость опыта RVSM к БПЛА



Уровень безопасности пилотируемых самолетов **не должен понижаться** из-за наличия БПЛА в общем воздушном пространстве (при этом интенсивность встреч – потенциальных конфликтов – будет непрерывно возрастать).

Требования трёхкратного резервирования высотометров для большинства БПЛА невыполнимы.

Возможности мониторинга сильно ограничены.

При этом следует считать необходимым:

- Разработку методики оценки уровня безопасности
- Сбор статистики для оценки «хвостов» распределений (могут потребоваться новые методики)
- Разработку новых методов мониторинга

Использование опыта RVSM следует считать **необходимым, но недостаточным.**

Повышенная роль систем предотвращения столкновений



На этапе начала использования RVSM системы предотвращения столкновений:

- Были недостаточно распространены и рассматривались как **дополнительное** средство повышения безопасности (в математическую модель не входили)
- Они были только кооперативными (требовалось взаимодействие с интродером – участником конфликта)
- Основывались на полном доверии к показанием барометрического высотомера

В настоящее время технологические возможности таких систем существенно возросли.

Повышенная роль систем предотвращения столкновений



Усовершенствованные современные системы должны взять на себя компенсацию новых проблем, отмеченных выше и возникающих применительно к БПЛА:

- Эти системы могут быть весьма разнообразными, в том числе некооперативными (не предполагающими взаимодействие с интродером)
- Они могут быть значительно легче и дешевле традиционных

При этом **количественная оценка их эффективности** остается нерешенной проблемой.

Разработка и назначение базовых нормативов безопасности



Исходным фундаментальным нормативом должен быть **целевой уровень безопасности**. Он должен различным для различных условий применения.

При этом, для взаимодействия с пилотируемым самолетом в расчете на одну встречу он должен быть **более жестким, чем существующие нормы** (количество возможных конфликтов увеличивается).

Для случая столкновения **двух БПЛА** эти требования могут в некоторых случаях быть **существенно ослаблены**.

Разработка более частных нормативов (например, на системы предотвращения столкновений) должна опираться на упомянутые фундаментальные.

Использование международных нормативов



Нормативы ИКАО носят очень общий характер (они предполагают, что каждое государство должно учитывать свою специфику), и не могут найти **непосредственного** применения.

Нормативы, разрабатываемые в США и Европе учитывают **их специфику**, и возможность их применения в наших условиях **требует валидации**.

Нельзя исключать, что они окажутся не вполне применимыми из-за:

- Существенной разницы в используемых инфраструктурах навигации, наблюдения и связи
- Различий в трактовке понятия «малый беспилотник»

Уточнение характеристик применяемой инфраструктуры



Это касается в **первую очередь** систем:

- спутниковой навигации
- спутниковой связи (для полетов вне зоны прямой радиовидимости)

Очень желательно (если не необходимо) наличие совместных документов Роскосмоса и Росавиации о характеристиках сигналов:

- **СДКМ** (в первую очередь **количественные** характеристики **целостности** – это **гораздо важнее точности** – и доступности в используемом воздушном пространстве)
- **Гонец** (доступность связи и отсутствие задержек и искажений при передаче сигналов)

С каких применений начать



В США и Европе основное внимание уделяется началу массового использования **малых БПЛА на предельно малых высотах** в условиях BVLS.

Для этого создается изоцированная инфраструктура (экосистема) в неконтролируемом воздушном пространстве, в основном над городами:

- **UTM в США**
- **U-space в Европе**

Проблемы быстрого начала применения такого подхода в РФ:

- Высокие требования к безопасности населения
- Высокий уровень радиопомех (нельзя исключать и преднамеренные типа спуфинг)
- Необходимость разворачивания новых дорогих технологий не только по навигации, наблюдению и связи в но и по **высокоточным краткосрочным** метеорологическим прогнозам (наукастинг): малые БПЛА сильно подвержены **порывам ветра**
- Необходима валидация западного опыта, в частности из-за различий в понимании термина «малый БПЛА» – 25 или 30 кг

С каких применений начать



Учитывая географические особенности, следует считать правильным и приложить максимум усилий для реализации намечаемых программ применительно к малонаселённым регионам с применением экспериментального правового режима

При этом наряду с упомянутыми выше подходами к обеспечению и оценке уровня безопасности необходимо:

- Назначать **заведомо большое** разделение ЛА в пространстве уже на этапе планирования полетов
- Ослаблять эти требования по мере накопления опыта, сбора и анализа статистики



Спасибо за внимание
Буду рад ответить на вопросы