

УДК 621.396.96:656.7.052

КОНТРОЛЬ ВЫДЕРЖИВАНИЯ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА

М.В. ЧЕРНЯКОВ, Б.С. ПРЯХИН

Изложены вопросы контроля безопасности полетов при введении и использовании сокращенных норм вертикального эшелонирования (RVSM).

Введение

В Российской Федерации в настоящее время в воздушном пространстве выше 8100 м применяется минимум вертикального эшелонирования 500 м. Введение сокращенного минимума вертикального эшелонирования (RVSM) в 300 м между соответственно оборудованными ВС в диапазоне 8100 - 12300 м позволит увеличить пропускную способность и снизить рабочую нагрузку диспетчеров путем введения шести дополнительных эшелонов полета (ЭП) [1].

Требуемый уровень безопасности полетов при введении RVSM

При обосновании практических решений относительно возможности сокращения норм вертикального эшелонирования использовались количественные методы оценки риска столкновений ВС в вертикальной плоскости. Оценка риска заключается в использовании модели расчета фактического уровня риска столкновений ВС, а также установлении уровня риска, рассматриваемого в качестве максимально допустимого значения для безопасной системы. Уровень риска, который считается приемлемым, называется установленным уровнем безопасности (TLS).

Модель оценки риска столкновений ВС в вертикальной плоскости основана на том, что столкновения происходят исключительно из-за навигационных ошибок в вертикальной плоскости допускаемых ВС, в отношении которых правильно применяется процедурное эшелонирование. Применительно к данной составляющей риска столкновения был определен TLS; он не учитывает риск, обусловленный другими факторами, например, отклонениями по высоте из-за турбулентности, реакциями на сигналы бортовой системы предупреждения столкновений, аварийными снижениями и эксплуатационными ошибками при выдаче или соблюдении указаний диспетчеров организации воздушного движения (ОрВД).

Основываясь на условии не снижения прогнозируемого результирующего уровня безопасности полетов, вычисленного на основе данных о динамике интенсивности воздушного движения, во всем мире было принято решение о том, что для разработки требований к выдерживанию высоты ВС при выполнении полетов в условиях RVSM должно использоваться расчетное значение TLS, равное $2,5 \times 10^{-9}$ катастрофы на 1 ч полета ВС.

В соответствии с этим решением были установлены глобальные технические требования к характеристикам системы ОрВД с RVSM, представляющие собой перечень требований к выдерживанию высоты ВС, бортовым системам, правилам эксплуатации ВС, процедурам УВД и методам контроля. Глобальные технические требования к характеристикам системы ОрВД с RVSM определяют характеристики выдерживания высоты, необходимые для соблюдения TLS, связанного с техническим риском. Значения характеристик выдерживания высоты полета зависят от ряда параметров воздушного пространства, влияющих на риск столкновения в случае потери вертикального эшелонирования. Они выражены через следующие величины [2]:

а) частоту случаев пролетов в противоположных направлениях с боковым перекрытием, равную 0,145 пролета на 1 ч полета ВС;

б) вероятность $P_z(1000)$ потери двумя ВС интервала вертикального эшелонирования RVSM, равную $1,7 \times 10^{-8}$.

Для обеспечения безопасного перехода к RVSM были разработаны глобальные технические требования к характеристикам выдерживания высоты, выраженные через суммарную ошибку по высоте (TVE), таким образом, что, если они выполняются, то соблюдается требуемое значение $P_z(1000)$.

Под TVE понимается геометрическая разница в вертикальной плоскости между фактической барометрической высотой $H_{\text{бар. факт.}}$, на которой находится ВС, и заданной барометрической высотой $H_{\text{бар. эш.}}$, соответствующей ЭП (рис. 1).

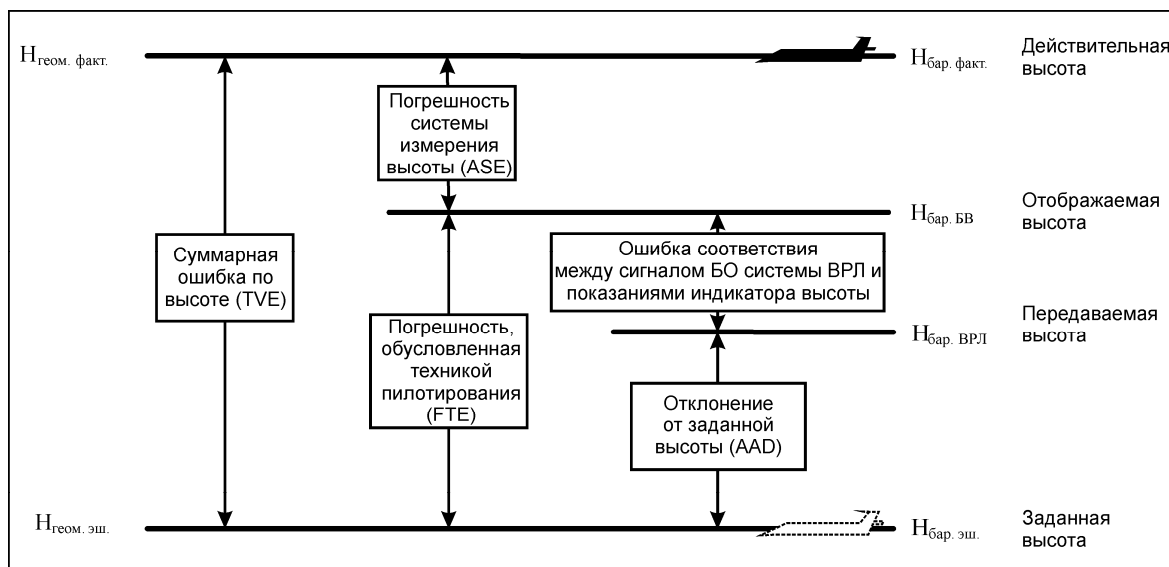


Рис.1. Составляющие суммарной ошибки по высоте

Требования, которые должны выполняться для совокупных характеристик TVE в воздушном пространстве с RVSM, заключаются в одновременном соблюдении следующих четырех условий [2]:

- 1) доля TVE, абсолютная величина которых превышает 90 м (300 футов), составляет менее $2,0 \times 10^{-3}$;
- 2) доля TVE, абсолютная величина которых превышает 150 м (500 футов), составляет менее $3,5 \times 10^{-6}$;
- 3) доля TVE, абсолютная величина которых превышает 200 м (650 футов), составляет менее $1,6 \times 10^{-7}$;
- 4) доля TVE, абсолютная величина которых находится в пределах 290-320 м (950-1050 футов), составляет менее $1,7 \times 10^{-8}$.

В соответствии с указанными выше требованиями были разработаны:

- требования к характеристикам летной годности, включенные в сводные технические требования к минимальным характеристикам бортовых систем (MASPS) всех ВС, использующих RVSM;
- новые эксплуатационные правила полетов в воздушном пространстве с RVSM;
- комплексный метод контроля безопасной эксплуатации системы.

Технические требования к средствам вертикального эшелонирования

В воздушное пространство с RVSM допускаются только те ВС, которые соответствуют техническим требованиям для обеспечения полетов в условиях минимума эшелонирования 300 м,

внесены в государственную базу данных и зарегистрированы в уполномоченном контролирующем органе.

К техническим характеристикам средств вертикального эшелонирования при сертификации типа предъявляются следующие требования [3]:

- 1) систематическая погрешность измерения высоты должна быть не более ± 25 м;
- 2) сумма абсолютного значения систематической погрешности измерения высоты и трех стандартных отклонений измерения высоты должна быть не более 75 м; для ВС, заявка на сертификацию которых подана после 01.01.2000 г. - не более 60 м в полном диапазоне режимов эксплуатации с RVSM;
- 3) порог срабатывания сигнализации отклонения от заданной высоты 60 ± 20 м;
- 4) среднее квадратическое отклонение погрешности выдерживания заданной высоты полета должно быть не более 13 м;
- 5) вероятность несигнализируемого отказа основных трактов измерения высоты должна быть не более 1×10^{-5} за час полета.

В табл. 1 приведены нормативные требования к техническим характеристикам средств вертикального эшелонирования для минимумов в 300 и 500 м [4].

Таблица 1

Нормативные требования к техническим характеристикам средств вертикального эшелонирования

Параметр	Рекомендуемые значения для эшелонирования через	
	300 м	500 м
Максимальная неучитываемая систематическая погрешность системы измерения статического давления, м	± 25	± 40
Максимальная учитываемая с помощью поправочной таблицы систематическая для данного типа воздушного судна погрешность системы измерения статического давления резервного высотомера, м	± 70	± 100
Среднее квадратическое отклонение случайной погрешности системы измерения статического давления не более, м	13	20
Сумма абсолютного значения систематической погрешности измерения высоты и трех стандартных отклонений измерения высоты не более, м	60	-

Контроль выдерживания высоты полета

В настоящее время контроль эшелонирования ВС на маршрутах воздушных трасс и вне трасс, а также в отведенных зонах района аэродрома осуществляется при помощи системы вторичной радиолокации (ВРЛ), когда значение барометрической высоты, измеренное на борту ВС, самолетным ответчиком передается на наземный радиолокатор.

Контроль эшелонирования ВС при помощи вторичных радиолокаторов позволяет выявить лишь погрешности, обусловленные техникой пилотирования (FTE), но не предоставляет информации о технических характеристиках системы выдерживания высоты полета ВС.

Для определения уровня риска и его сопоставления с TLS до и после внедрения RVSM предложено оценивать риск, обусловленный исключительно техническими характеристиками выдерживания высоты полета ВС, путем сбора соответствующих данных и определения значений ряда параметров, используемых в модели риска столкновения. Кроме того, указанный процесс требует осуществлять сбор данных о погрешности системы измерения высоты (ASE), по-

скольким таким данным могут использоваться для оценки соблюдения требований MASPS и получения свидетельств стабильности ASE. Под ASE понимается разница между абсолютной высотой на индикаторе высотомера $H_{\text{бар. БВ}}$ при условии правильной установки барометрического давления на высотомере и барометрической высотой, соответствующей невозмущенному окружающему давлению $H_{\text{бар. факт.}}$ (рис. 1).

Статистические характеристики TVE определяются значениями независимых одновременных погрешностей ASE и выдерживания абсолютной высоты (AAD). Эти две составляющие погрешности TVE имеют разные характеристики.

Ошибки выдерживания абсолютной высоты ВС могут изменяться в ходе полета. Данные об ошибках выдерживания абсолютной высоты полета из таких источников, как самописцы полетных данных и системы ВРЛ свидетельствуют о том, что преобладают величины менее 15 м (50 футов), но возникают, хотя и относительно нечасто, ошибки порядка 90 м (300 футов) и более. Такие большие ошибки сохраняются обычно в течение 30 – 180 с.

Существует два метода оценки характеристик систем выдерживания абсолютной высоты. Если используются непосредственно показания высотомеров $H_{\text{бар. БВ}}$ или информация самописцев полетных данных об измеряемой барометрической высоте, то разница между этой абсолютной высотой и высотой разрешенного ЭП $H_{\text{бар. эш.}}$ даст погрешность, обусловленную техникой пилотирования (FTE). Если используются данные системы ВРЛ, то разница между высотой полета, передаваемой бортовым ответчиком в режиме С или режиме S (поле AC) $H_{\text{бар. ВРЛ}}$ и высотой разрешенного ЭП, является отклонением AAD (рис. 1).

Большие отклонения AAD, как правило, имеют место непродолжительное время, поэтому контроль их ошибок должен осуществляться, по возможности, во всем объеме воздушного пространства с RVSM, обслуживаемом системой ВРЛ. Однако фактически в процессе контроля с целью как снижения риска посредством исправления ошибок так и оценки риска следует регистрировать только величины AAD, равные или превышающие 90 м (300 футов). Для оценки риска необходимо также определить общее полетное время в зоне действия системы ВРЛ на ЭП 290 и выше. Определив AAD, имеющие большие значения, и общее полетное время, можно рассчитать долю времени, в течение которого могут иметь место такие AAD.

Используемые критерии для определения не соблюдающих требования ВС заключаются в следующем [2]:

- a) $TVE \geq 90 \text{ м (300 футов)}$;
- b) $ASE \geq 75 \text{ м (245 футов)}$;
- c) $AAD \geq 90 \text{ м (300 футов)}$.

Принимая решение о том, отвечает ли некоторое ВС этим критериям, необходимо учитывать погрешность измерения системы контроля, а также нормальную вариацию ASE или TVE ВС. На этот процесс принятия решения влияют два типа статистических ошибок: ошибка первого типа и ошибка второго типа. Для исключения ошибочного определения ВС как не соблюдающего требования на основе одного большого замеренного отклонения (ошибка первого типа) пороговые уровни отклонений для принятия такой гипотезы должны несколько превышать значения, упомянутые в указанных выше критериях. Необходимо также исключить такие случаи, когда ВС, не отвечающее упомянутым выше критериям, считается как соответствующее им (ошибка второго типа). Для обеспечения этого следует установить также пороговые уровни, которые будут несколько ниже, чем вышеупомянутые.

В качестве примера ниже приведены пороговые уровни, которые в настоящее время используются в Североатлантическом регионе [2]:

- a) пороговые уровни для нетипичных ВС: $|ASE| \geq 49 \text{ м (160 футов)}$ или $|TVE| \geq 52 \text{ м (170 футов)}$;
- b) пороговые уровни для не соблюдающих требования ВС: $|ASE| \geq 90 \text{ м (300 футов)}$ или $|TVE| \geq 107 \text{ м (350 футов)}$, или $|AAD| \geq 90 \text{ м (300 футов)}$.

Подход ИКАО к сбору и оценке данных о характеристиках выдерживания высоты

ИКАО принят четырехэлементный подход к сбору и оценке данных о характеристиках выдерживания высоты полета на этапе проверки. Анализ типичных характеристик в рамках первого элемента будет предусматривать оценку значений ASE. Второй элемент процесса предусматривает проведение переписи ASE с целью анализа и исключения любых чрезмерных ASE. Третий элемент процесса связан с определением количества больших ошибок, которые непосредственно влияют на риск, и получением соответствующей степени достоверности выдерживания TLS. Наконец четвертый элемент предусматривает определение того, выполняются ли глобальные технические требования к характеристикам выдерживания высоты полета [2].

Первый элемент процесса оценки данных предусматривает проведение анализа типичных характеристик выдерживания высоты полета ВС с целью выявления значений TVE, ASE и AAD, выходящих за допустимые ограничения, и определение числа таких случаев. Второй элемент данного процесса предусматривает проведение переписи ASE. В данном случае основная цель заключается в определении ASE каждого ВС и выявлении тех ВС, ASE которых превышают допустимое ограничение с тем, чтобы можно было предпринять корректирующие действия. Третий элемент количественной оценки предусматривает определение как можно раньше достигнутого на данный момент уровня безопасности полетов и степени его достоверности. Цель четвертого элемента заключается в демонстрации соблюдения глобальных технических требований к характеристикам выдерживания высоты полета.

Метод контроля выдерживания высоты полета

Важными элементами системы контроля, связанного с применением RVSM, являются наземные системы контроля высоты полета (НМУ), собирающие основной объем данных, а также дополняющие их портативные блоки контроля глобальной системы определения местоположения (ГМУ).

В настоящее время непосредственное измерение TVE можно осуществить только посредством определения геометрической высоты полета ВС $H_{\text{геом. факт.}}$ и расчета на этот же момент времени и для той же точки геометрической высоты разрешенного ЭП $H_{\text{геом. эш.}}$. Разница между этими двумя высотами дает величину TVE (рис. 1).

НМУ – система наземного базирования, измеряющая характеристики выдерживания высоты полета ВС в зоне, имеющей форму круга. Каждая такая система состоит из комплекта наземных станций, с одной центральной площадкой и четырьмя дополнительными приемниками, расположенными в форме квадрата. Каждая из этих площадок принимает сигналы БО системы ВРЛ (в режимах А и S), на основе которых рассчитывается положение ВС в трех измерениях [2, 5]. Используя метеорологическую информацию и данные системы ВРЛ о высоте полета (в режимах С и S), возможно измерить TVE и AAD и ASE (рис. 2).

Контроль с помощью НМУ обладает рядом преимуществ [2]:

- не требуется установки дополнительных блоков на ВС;
- осуществляется контроль в автоматическом режиме;
- позволяет выявлять ВС, не соблюдающие требования MASPS во время обычного рейса;
- может использоваться для постоянного сбора данных о TVE и её составляющих;
- выдача результатов контроля осуществляется в реальном масштабе времени;
- позволяет в сжатые сроки проконтролировать все ВС.

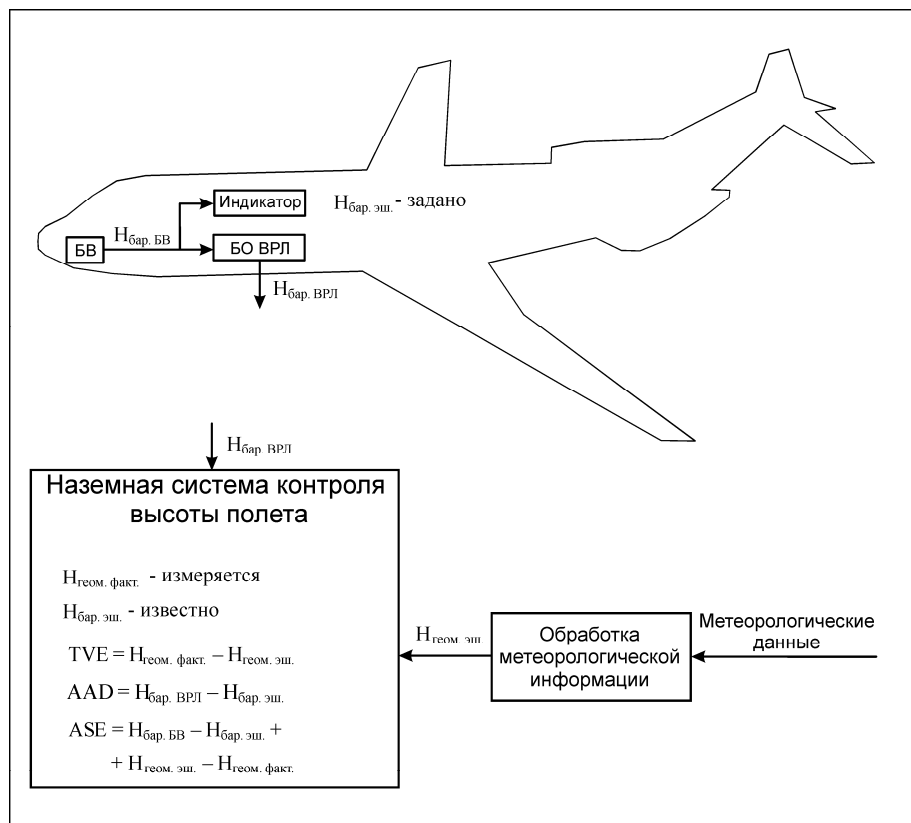


Рис.2. Метод определения составляющих суммарной ошибки по высоте

Учитывая характер составляющих TVE погрешностей, независимый контроль характеристик системы должен включать комплекс процедур, предусматривающих:

- контроль TVE с помощью системы HMU (GMU) с целью получения как можно более широкой выборки типов ВС и пользователей;
- контроль AAD, используя данные системы ВРЛ в режиме C/S об абсолютной высоте полета;
- определение величины ASE для каждого измеренного значения TVE.

Основная функция системы контроля высоты заключается в сборе данных о технических характеристиках выдерживания высоты полета ВС в горизонтальном и прямолинейном полете на ЭП 290 и выше. В соответствии с эксплуатационными требованиями она должна [2]:

- а) работать в автоматическом режиме, когда это возможно;
- б) измерять геометрическую высоту ВС в горизонтальном и прямолинейном полете на ЭП 290 и выше в течение 30 с или более;
- в) принимать входные данные о расчетной геометрической высоте используемых эшелонов полета между ЭП 290 и ЭП 410;
- г) регистрировать геометрическую высоту полета ВС и ЭП;
- д) иметь доступ к данным об опознавательном индексе ВС и показаниям ВРЛ режима C/S в период проведения контроля TVE;
- е) определять TVE, AAD и ASE;
- ж) выдавать “предупреждения” при превышении заранее установленных значений TVE, ASE или AAD.

Совместное среднее квадратическое отклонение погрешности измерения геометрических высот полета ВС и геометрических высот ЭП не должно превышать 15 м (50 футов). Индивидуальная средняя погрешность измерения геометрических высот полета ВС и геометрических высот ЭП должна составлять 0 м.

Выводы

Неотъемлемой частью программы по сокращению норм вертикального эшелонирования является контроль характеристик системы ОрВД, обусловленный необходимостью обеспечить соблюдение показателей безопасности полетов при внедрении и последующем использовании RVSM.

Установлено, что для оценки риска, связанного с техническими характеристиками выдерживания высоты полета ВС, определение TVE имеет критическое значение. Учитывая характер составляющих этой ошибки, независимый контроль характеристик системы должен включать комплекс процедур, предусматривающих контроль TVE с помощью НМУ (GMU), контроль ААД, используя данные системы ВРЛ в режиме C/S об абсолютной высоте полета; и определение ASE для каждого измеренного значения TVE.

Наилучший метод измерения TVE заключается в сравнении геометрической высоты полета ВС, измеренной с помощью НМУ, с геометрической высотой разрешенного эшелона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановлении №1 Межведомственной комиссии по использованию воздушного пространства Российской Федерации от 16 сентября 1999 г.
2. **Руководство** по применению минимума вертикального эшелонирования в 300 м (1000 фут) между ЭП 290 и ЭП 410 включительно. Изд. 2-ое, Doc 9574 – AN/934, 2002.
3. Руководство по допуску воздушных судов и Эксплуатантов к полетам в условиях минимума вертикального эшелонирования 1000 фут между эшелонами 290 и 410 включительно (RVSM) в Европейском регионе, опубликованное в информации ФАС России № 6.9-20 от 07.06.99 г.
4. Нормативные требования к техническим характеристикам средств вертикального эшелонирования (Приложение к п. 8.2.2.13 ЕНЛГС).
5. **Столяров Г.В., Пряхин Б.С., Шанин А.В.** Применение многопозиционных радиолокационных станций для управления воздушным движением. // Научный Вестник ГосНИИ "Аэронавигация", серия Проблемы организации воздушного движения. Безопасность полетов, №6, 2006.
6. Циркуляр аэронавигационной информации по вопросам внедрения RVSM в европейском регионе, опубликованный в информации ФСБТ России № 6.6-164 от 18 июля 2000 г.

THE CONTROL OF ALTITUDE HOLD OF FLIGHT

Chernyakov M.V., Pryakhin B.S.

Questions of the control of an air safety are stated at introduction and use of the reduced vertical separation minimum (RVSM).

Сведения об авторах

Черняков Михаил Владимирович, 1938 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (1960), Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, РАТ, РАО, МАТ, МАИ, профессор кафедры авиационных радиоэлектронных систем МГТУ ГА и МГУ ПИ, автор более 200 научных работ, область научных интересов - информационные технологии.

Пряхин Борис Сергеевич, 1979 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (2001), аспирант кафедры авиационных радиоэлектронных систем МГТУ ГА, старший научный сотрудник ГосНИИ «Аэронавигация», автор 20 научных работ, область научных интересов – моделирование и оценка эффективности систем и средств автоматизации УВД, радиолокации, радионавигации и посадки.