

ДОНАЛЬД Е. СВИХАРТ, АРТУР Ф. БАРФИЛД, ЭДВАРД М. ГРИФФИН,
РИЧАРД К. ЛЕМАНН, ШОН К. УИТКОМБ, БИЛЛИ ФЛИНН, МАРК А. СКУГ,
КЕВИН И. ПРОССЕР

РАЗРАБОТКА, КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ И ЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ С ЗЕМЛЕЙ

Исследовательская лаборатория ВВС (ИЛВВС) на базе ВВС США «Райт Паттерсон» выполняет программу снижения риска потери истребителей. Программа реализуется ИЛВВС совместно с летно-исследовательским центром НАСА им. Драйдена, корпорацией «Локхид Мартин Аэронавтикс» и летно-испытательным центром ВВС. В ходе выполнения программы методика автоматических систем предотвращения столкновений с Землей была доведена до уровня реализации в производстве. Испытания АСПСЗ проводились на истребителе F16. В данной статье обсуждаются результаты выполнения работы.

Введение

В настоящее время эффективность большинства систем предотвращения столкновений, установленных на истребителях, зависит от качества ручного управления самолетом при выдаче сигнала предупреждения о столкновении. Чтобы существенно снизить количество аварий, необходимо внедрить методику предотвращения столкновений в системах, которые не только предупреждают пилота, но и берут на себя управление и выводят самолет из опасной ситуации, после чего возвращают управление пилоту. Внедрение такой методики обеспечивают автоматические системы предотвращения столкновений с Землей

Дональд Е. Свихарт. Исследовательская лаборатория ВВС, авиационная база Райт Паттерсон, США.

Артур Ф. Барфилд. Корпорация «Инфоситекс», Дейтон, США.

Эдвард М. Гриффин, Ричард К. Леманн, Шон К. Уиткомб, Билли Флинн. Корпорация «Локхид Мартин Аэронавтикс», Форт-Уорт, США.

Марк А. Скуг. Летно-исследовательский центр НАСА им. Драйдена, Эдвардс, США.

Кевин И. Проссер. Корпорация «Калспан», авиационная база Эдвардс, США.

Статья по докладу на XVII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам.

(АСПСЗ). За последние 20 лет выполнено много работ по разработке и испытаниям АСПСЗ.

Управляемый полет, приводящий к столкновению с рельефом местности (УПСР), предполагает столкновение с землей, водой, деревьями или искусственными преградами. УПСР подразумевает аварии, когда самолет исправен и пилот активно управляет им или когда возможность пилота управлять самолетом снижена из-за потери пространственной ориентации. К УПСР также относятся аварии, когда самолет оказывается в такой точке, перемещаясь из которой невозможно избежать непреднамеренного столкновения с землей (например, маневрируя при недостаточной высоте или скорости полета, при входе в крутой вираж на низкой высоте или в процессе полета в каньоне с почти вертикальными стенами), независимо от последующей реакции пилота (например, увеличить число оборотов двигателя, совершить маневр для предотвращения столкновения и т.п.). В статье показано, как можно избежать УПСР с помощью АСПСЗ.

Далее обсуждаются требования к АСПСЗ и степень важности этих требований.

В статье также показано, почему предотвращение ложных предупреждений имеет более высокий приоритет, чем маневр спасения, и как разработана автоматическая система, чтобы в основном исключить эти предупреждения. Затронуты методики разработки критерия парирования ложных предупреждений с помощью активируемой пилотом системы спасения (АПСС). Объясняется, как АПСС позволяет повысить безопасность полета.

В 2005 г. была поставлена задача на 75% снизить количество аварий, вызванных УПСР. Для достижения поставленной цели заместитель министра обороны по персоналу и боеготовности учредил Совет по контролю за безопасностью систем обороны. В дальнейшем Совет сформировал девять оперативных групп, работающих в различных областях техники, где стоит проблема снижения количества аварий. Одна из оперативных групп – группа повышения авиационной безопасности – сформировала комплексные группы разработчиков и рабочие группы для оценки авиационных аварий и выдачи рекомендаций по технически возможным и эффективным стратегиям их предупреждения. Рабочая группа по технике безопасности, в обязанности которой входило выявление стратегий для снижения авиационных аварий, рекомендовала использование АСПСЗ как средство для снижения количества аварий, вызванных УПСР (рис. 1).



Рис. 1. Испытательный самолет F16 с установленной АСПСЗ

Автоматические системы предотвращения столкновений с землей – это технология, которая практически устранила аварии самолетов в результате УПСР. Функционирование системы основано на проецировании прогнозируемой траектории движения самолета на виртуальную карту местности. Эту карту формируют точки местности, определяемые на основании цифровой модели рельефа (ЦМР), каждая из которых отображает отметку высоты, соотнесенную с конкретной широтой и долготой точки рельефа. Для точного позиционирования самолета с использованием ЦМР в системе используется инерциальная навигационная система (ИНС), интегрированная с GPS. Если траектория движения, обеспечивающая спасение самолета («траектория возврата»), пересекает профиль местности (с учетом некоторого буфера безопасности), система реализует разворот в положение нулевого крена с перегрузкой до 5 g. Задокumentированные испытательные полеты демонстрируют, что система способна предупредить до 98% произошедших аварий. Чтобы система была принята в качестве средства предотвращения аварий, ее использование должно быть безопасно, а также должно быть обеспечено отсутствие ложных предупреждений об опасности.

Требования к АСПСЗ в порядке приоритета

Безопасность применения

Применение АСПСЗ не должно привести к аварии. Например, абсолютно недопустим отказ ИНС, в результате которого АСПСЗ может реализовать маневр, приводящий к пикированию самолета вместо выхода из него. Необходимо обнаружение всех сбоев, которые могут привести к возникновению опасных ситуаций при работе и при этом к отключению АСПСЗ. В этой ситуации защитная функция АСПСЗ нарушается, но самолет может завершить полет без повреждений. Чтобы обеспечить отказобезопасность, в системе активно используются методы распределенного контроля целостности данных.

Невмешательство в выполнение задачи (исключение ложных предупреждений)

В начале работы над АСПСЗ были определены два наиболее важных вопроса, требующих решения. Первый – о значимости ложных предупреждений в системе. Второй – о сложности определения ложных сигналов опасности и представления данных о них в виде, который можно было бы использовать при конструировании и разработке АСПСЗ.

По данным исследований, основной недостаток при получении автоматического решения задачи на тот момент заключался в избыточности рассматриваемых ложных сигналов опасности. Пилоты быстро научились не обращать внимания на сигналы опасности от неавтоматизированных систем или полностью выключать АСПСЗ, чтобы избежать ее реакции на ложные сигналы опасности. В результате использование АСПСЗ было неэффективным. Не существовало никаких критериев для разграничения достоверных предупреждений об опасности и тех, которые пилот посчитает ложными. Подтверждением вышесказанного служит тот факт, что УПСР оставался главной причиной аварий со смертельным исходом в авиации даже на самолетах, где была установлена одна или несколько автономных систем предупреждения о приближении к земле.

В 1995 г. ИЛВВС начала работу над проблемой ложных предупреждений с проведения исследования с использованием истребителей. Задача исследования состояла в разработке критерия, который могли бы использовать разработчики автоматической системы для исключения влияния ложных сигналов опасности. Была разработана программа летных испытаний для определения границы, ниже которой выход из пике (ВИП) считался негарантированным. Предпосылкой для разработки критерия послужило следующее соображение. При угрозе столкновения пилот должен оценить расстояние, необходимое для предотвращения столкновения и определяющее момент ВИП. Следует подчеркнуть, что именно пилот должен принять решение о гарантированности ВИП при его активации. Можно прийти к выводу, что граница между достоверным и ложным предупреждением о столкновении – это момент, когда владеющий ситуацией пилот осознает, что для предотвращения столкновения необходимо начать энергичный ВИП. Логически рассуждая, получаем, что предупреждение, выданное после этого момента, не будет расцениваться пилотом как ложное, так как он уже решил, что ВИП будет оправдан. Аналогично ВИП, предпринятый до этого момента, можно при определенных условиях посчитать ложным. Определение геометрического места точек, где пилот осознает необходимость проведения активного ВИП, позволяет выявить критерий, определяющий границу между достоверными и ложными предупреждениями.

При испытательных полетах пилоты должны были определить различные условия во время сближения с землей при меняющемся угле пикирования, крена, воздушной скорости и степени перегрузки. Полеты проводились над равнинной и гористой местностью. Дополнительно каждый пилот выполнял пикирование под углом 5° при нулевом крене со скоростью 450 уз над равнинной местностью в начале и в конце каждого вылета, чтобы оценить изменения в личном восприятии окружающей обстановки на малой высоте по мере проведения испытаний.

В соответствии с методикой испытаний пилоты определяли условия полета и выдерживали их при оценке процесса приближения к земле. По достижении некоторого порога, при котором пилот еще чувствовал себя комфортно, он активировал маневр ВИП. Для выполнения этого маневра применялась специальная, активируемая пилотом система спасения (АПСС), чтобы маневры спасения, выполняемые всеми пилотами, были одинаковы вне зависимости от техники пилотирования. Маневр, выполняемый АПСС, практически представлял собой маневр спасения, осуществляемый АСПСЗ, специально разработанный как аналог активного маневра пилота. Пилот фиксировал момент начала проведения маневра, уровень возникающего у него чувства тревоги и точность/активность маневра в каждом заходе. На основе этих данных было установлено, что при принятии решения, когда следует начинать маневр спасения, пилоты руководствовались не данными о высоте, а располагаемым для маневра временем. При этом может быть построен график зависимости среднего значения располагаемого времени от тревоги пилота, а также границы его среднеквадратичного отклонения от средних значений. Наблюдается практически линейный тренд в величине располагаемого времени с ростом чувства тревоги, сопровождаемый уменьшением разброса величин располагаемого времени. Граница на уровне 1,5 с располагаемого времени наилучшим образом определяет пограничную линию между маневрами спасения, считающимися ложными или достоверными. На рис. 2 приведена шкала оценок чувства тревоги пилота.

Оценка чувства тревоги	Величина
Очень четко осознавал, где находится земля	1
Чувствовал бы себя более комфортно при маневре спасения на меньшей высоте	2
Маневр спасения прошел, как и ожидалось	3
Маневр спасения произошел ниже уровня личного комфорта	4
Ощущение опасности для жизни	5

Рис. 2. Шкала оценок чувства тревоги пилота

На рис. 3 представлено определение 1,5-секундной границы признания предупреждения ложным, установленной по результатам летных испытаний.

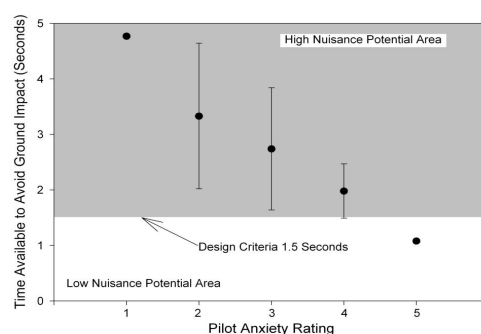


Рис. 3. Граница признания пилотами предупреждения ложным на основании располагаемого времени:

Time available to avoid ground impact (seconds) – располагаемое время для предотвращения столкновения с землей (с)

High nuisance potential area – Зона высокой вероятности признания предупреждения ложным
Design criteria 1.5 s – расчетный критерий 1,5 с

Low nuisance potential area – зона низкой вероятности признания предупреждения ложным
Pilot Anxiety Rating – оценка чувства тревоги пилота

Результаты испытаний по определению величины располагаемого времени при активации системы показаны на рис. 4. Хотя некоторые точки на графике, соответствующие активации автоматических маневров спасения при малой скорости в случае применения тяжелого летательного аппарата (ЛА) располагаются выше 1,5-секундной границы, оказалось, что пилоты начинали маневр из-за слабой реакции самолета на него в этом случае.

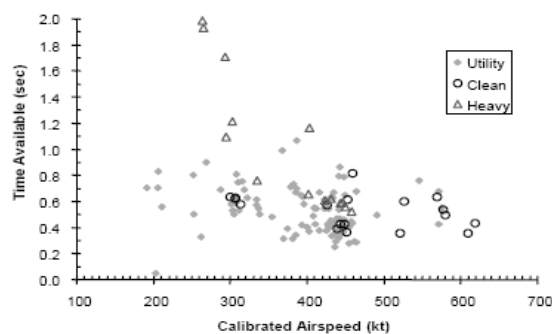


Рис. 4. Измеренное располагаемое время по данным маневров спасения во время испытательных полетов с использованием АСПСЗ:

Time available (s) – располагаемое время (с)

Calibrated airspeed (kt) – калиброванная воздушная скорость (уз)

Utility – типовой ЛА

Clean – ЛА с убраным шасси

Heavy – тяжелый ЛА

Другой метод сокращения количества ложных предупреждений – вернуть пилоту управление самолетом, как только будет пройдена территория, где есть угроза столкновения. При испытательных полетах выяснилось, что пилоты ничего не имеют против кратковременных автоматических коррекций траектории, если они незначительно изменяют пространственное положение самолета. Пилоты называют такие кратковременные коррекции «лежачими полицейскими», потому что ощущение в эти моменты похоже на переезд такого препятствия автомобилем. Эти же незначительные коррекции пилоты считают ненужными, если маневр заканчивается переходом в режим стабилизации высоты или в другой аналогичный режим автопилота.

Предотвращение столкновений с землей

АСПСЗ обеспечивает проведение автоматического маневра спасения, если такой маневр требуется и система должным образом сконфигурирована. АСПСЗ предупреждает ситуации, когда пилот не может адекватно управлять траекторией полета из-за потери пространственной ориентации, неспособности справиться с заданиями или потери сознания из-за повышенных перегрузок.

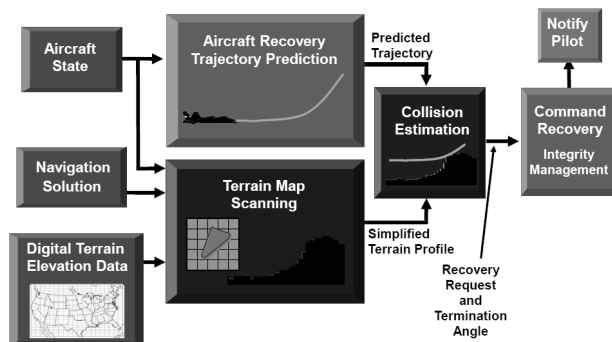


Рис. 5. Концепция архитектуры АСПСЗ:

- Aircraft state – пространственное положение самолета
- Navigation solution – навигационное решение
- Digital terrain elevation data – цифровая модель рельефа
- Aircraft recovery trajectory prediction – прогноз траектории спасения самолета
- Terrain map scanning – сканирование карты местности
- Predicted trajectory – прогнозируемая траектория
- Collision estimation – оценка вероятности столкновения
- Simplified terrain profile – упрощенный профиль местности
- Recovery request and termination angle – запрос на проведение маневра спасения и угол безопасного ухода
- Notify pilot – уведомление пилота
- Command recovery/ integrity management – команда на выполнение маневра спасения/ сохранение целостности данных

АСПСЗ определяет, когда нужно начинать маневр спасения с использованием прогнозируемой траектории. Эта траектория формируется на основе текущего пространственного положения самолета и характеристик местности в области прогнозируемой траектории. Маневр спасения инициируется в тот момент, когда прогнозируемая траектория «касается» профиля местности с учетом допусков, определенных выбранным режимом спасения. При этом определяется условие инициации маневра спасения на основании некоторого буфера безопасности высоты полета над местностью. Маневр спасения определяется как

выход из пикирования с поворотом в положение нулевого крена с перегрузкой 5 g. Маневр продолжается до достижения угла предотвращения опасности, т.е. угла, при котором гарантируется, что траектория полета миновала опасный участок местности. На рис. 5 представлена концептуальная модель архитектуры системы.

Сканирование местности

Создание ЦМР представляет собой не физическое сканирование, например, с помощью радара, а программное сканирование, при котором изучается область перед самолетом при полете по прямой. Развертка такого сканирования обычно имеет вид узкого сектора круговой диаграммы, но по мере приближения к очень крутым вертикальным поверхностям может и увеличиваться до формы многоугольника, где самолет находится в центре. Ширина развертки задается так, чтобы избежать ненужных маневров спасения при полетах вблизи гористой местности. Использование слишком узкой развертки может привести к исчезновению изображения важного участка местности (и тогда самолет остается незащищенным), а слишком широкой – к формированию ложной опасности, т.е. спровоцировать ненужный маневр. ЦМР состоит из точек, отдаленных друг от друга на определенные расстояния. Анализируя по данным ЦМР высоты точек местности в пределах развертки, формируют гистограмму высот в функции от дальности до самолета. На основании высот столбцов гистограммы и расстояния до самолета генерируется двухмерный профиль. На рис. 6 показан процесс сканирования и разнесения данных по столбцам гистограммы. К сформированному профилю добавляются буферные зоны безопасности и недостоверности, образующие некоторый контур, с использованием которого, а также прогнозируемой траектории предотвращения столкновения с землей определяется, следует ли, и если да, то когда проводить автоматический маневр спасения.

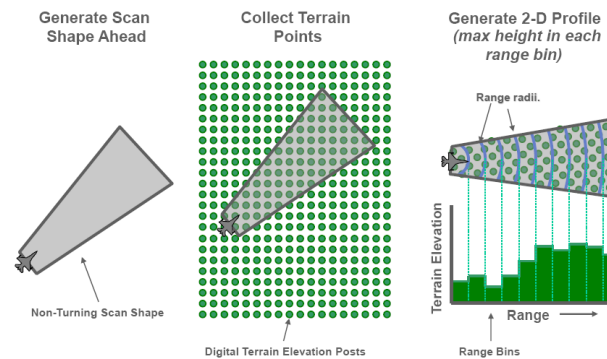


Рис. 6. Процесс сканирования местности и разнесения данных по столбцам гистограммы:

Generate scan shape ahead – выработка формы развертки

Non-turning scan shape – форма развертка

Collect terrain points – выбор точек местности

Digital terrain elevation posts – точки ЦМР

Generate 2-D profile (max height in each range bin) – формирование двухмерного профиля (максимальная высота в каждом столбце дальности)

Range radii – радиусы дальности

Terrain elevation – высота местности

Range – дальность

Range bins – столбцы гистограммы

Развертка выбирается минимального размера, но так, чтобы она покрывала область, в пределах которой будет выполняться маневр спасения самолета. Иначе говоря, изучается только тот фрагмент местности, над которым, возможно, пролетит самолет во время выполнения маневра спасения. Ограничивая район изучаемой местности, можно свести к минимуму вероятность выполнения ложного маневра. При переходе от спокойного полета к очень агрессивному маневрированию развертка увеличивается в размере. Соответственно форма развертки постоянно меняется в зависимости от текущих условий полета, но она постоянно покрывает район, где возможно выполнение маневра спасения. Однако в некоторые моменты полета трудно точно спрогнозировать направление маневра спасения. В таких случаях для сканирования окружающей местности используется круговая развертка в форме восьмиугольника. При применении такой развертки алгоритмы сканирования используются при управлении маневрированием самолета, гарантируя рассмотрение достаточно большого фрагмента местности до того, как будет принято окончательное решение. Наконец, система автоматически диагностирует условия полета, в которых пилот сознательно летит на малой высоте, и реагирует на это постепенным уменьшением развертки до минимального размера. При этом снижается вероятность выработки АСПСЗ ложных предупреждений, но снижается и степень защиты самолета.

АСПСЗ позволяет поддерживать баланс между защитой и ложными предупреждениями. На этот баланс влияет не только размер развертки; важны также разрешение и точность данных ЦМР. ЦМР с более высоким разрешением обычно обеспечивает более надежную защиту из-за возможности обзреть большее количество точек местности. Однако повышенная степень защиты иногда означает и повышенное число ложных предупреждений. ЦМР с более высоким разрешением может привести и к снижению числа ложных предупреждений, особенно в горных районах, где точки местности расположены ближе друг к другу и лучше отображают непосредственную угрозу для траектории полета. Из-за наличия большого количества точек, доступных для обработки, можно реально снизить размер развертки, при этом обеспечив минимальный объем данных для защиты самолета. Таким образом, отвесные склоны гор можно исключить из процесса сканирования, так как в профиль местности уже включено достаточное количество точек. К сожалению, увеличение разрешения ЦМР, в общем улучшая работу системы, также приводит и к увеличенному времени вычислений из-за того, что нужно обработать больший объем данных.

Данные о рельефе

В настоящее время наблюдается стремление использовать несколько источников данных о рельефе, желательно более высокого качества. ЦМР для группы разработчиков АСПСЗ была предоставлена Национальным агентством геопространственной разведки США (NGA). Предыдущая версия ЦМР создавалась в течение нескольких лет по информации от различных источников, и данные в ней могут быть разного качества в зависимости от источника. Сейчас агентство NGA работает над выпуском версии ЦМР на основе данных радарной топографической съемки с использованием «Шаттла» (РТСШ), проведенной в феврале 2000 г. Этот новейший набор данных обеспечивает покрытие земного шара от 60° сев. шир. до 60° южн. шир. и пройдет постобработку для заполнения пустот,

полученных при съемке и вызванных низким коэффициентом отражения или затенением местности. Если требуются данные о местности севернее 60° сев. шир. или южнее 60° южн. шир., понадобятся другие наборы данных, например предыдущая версия ЦМР. В предыдущей версии ЦМР содержатся сведения о поверхности местности, и нет данных об искусственных сооружениях типа зданий или опор линий электропередач. Что касается версии РТСШ, то, поскольку она основана на отраженных радиолокационных сигналах, в ней содержатся данные о множестве зданий, опор линий электропередач и в зависимости от коэффициента отражения – данные о высоте деревьев или другой растительности.

Процесс дискретизации, используемый NGA при построении ЦМР для разрежения 1-секундных данных в угловой мере до 3-секундных, способен отсеять изображение верха некоторых объектов данной местности. Для разрежения данных и сохранения самых высоких точек могут быть использованы разные методики обработки, но все они приводят к увеличению количества ложных предупреждений при полетах на малой высоте. В областях с низкой отражательной способностью сигналов радара могут присутствовать более серьезные погрешности. Чтобы обеспечить защиту самолета, в системе должны быть предусмотрены буферные значения для учета этих погрешностей. Однако, чтобы обеспечить полет на малой высоте без ложных предупреждений, необходимо использование минимальных буферных значений. В АСПСЗ данное противоречие между требованием отсутствия ложных предупреждений и защитой самолета разрешается за счет использования двух режимов. В нормальном режиме (Norm) для обеспечения защиты большую часть времени используются буферные значения, адекватные ситуации, которые, однако, позволяют пилоту спуститься на довольно малую высоту, предпочитаемую большинством пилотов ВВС США. В этом режиме используются в том числе буферные значения, учитывающие высоту деревьев. В минимальном режиме (Min) буферные значения сведены к минимуму: следует пожертвовать некоей степенью защиты, чтобы обеспечить полет на предельно малой высоте без ложных предупреждений.

Для АСПСЗ интервал между точками в 3 угл. с. (около 100 м по высоте) оказался достаточным для обеспечения защиты с минимальным количеством ложных предупреждений для типового полета истребителя. Разработчики АСПСЗ создали также методики сжатия и распаковки данных ЦМР. Чтобы достичь высоких коэффициентов сжатия, была разработана методика сжатия «с потерями», которая позволяет осуществить сжатие глобальной базы данных, а значит, обеспечит защиту самолета практически в любой точке Земли, где будет находиться истребитель. Если истребитель должен лететь на предельно малой высоте в конкретном регионе без ложных предупреждений, пилоту потребуется загрузить местную несжатую базу данных с разрешением 3 угл. с.

Прогноз траектории

Алгоритм прогноза траектории (АПТ) моделирует автоматический маневр спасения. Он отвечает на вопрос: «Если сейчас активировать автоматический маневр спасения, какой будет результирующая траектория?» Затем эта траектория сравнивается с профилем местности, чтобы определить, требуется ли маневр спасения. Чтобы определить, сколь близко АПТ-траектория должна соответствовать траектории реального маневра спасения, нужно добиться баланса между обеспечением защиты ЛА, исключением ложных предупреждений и ми-

нимизацией сложности АПТ. Эта задача решается с использованием в качестве метрики располагаемого времени для предотвращения столкновения, описанного выше. Разработчики АСПСЗ настроили АПТ таким образом, что номинальный маневр спасения активируется, когда располагаемое время составляет около 0,5 с. Настройка коэффициента усиления АПТ была реализована с использованием в качестве эталона имитатора динамики самолета с шестью степенями свободы. Имитация проводилась при всех расчетных условиях с задержкой 0,5 с момента активации маневра спасения. Затем с помощью программы оптимизации была минимизирована СКО между траекторией, моделируемой с помощью имитатора, и АПТ-траекторией. Рис. 7 отражает концепцию добавления задержки для учета заданного располагаемого времени. Траектория с задержкой проходит существенно ниже номинальной. Разница высот этих двух траекторий будет сильно меняться в зависимости от начальных условий.

При испытательных и оценочных полетах пилоты отмечали, что они были более чувствительны к ложным предупреждениям при пологом пикировании с нулевым креном. Степень чувствительности увеличивалась по мере роста угла пикирования. В результате заданное располагаемое время для АПТ было сокращено до 0,3 с для углов пикирования менее 20° .

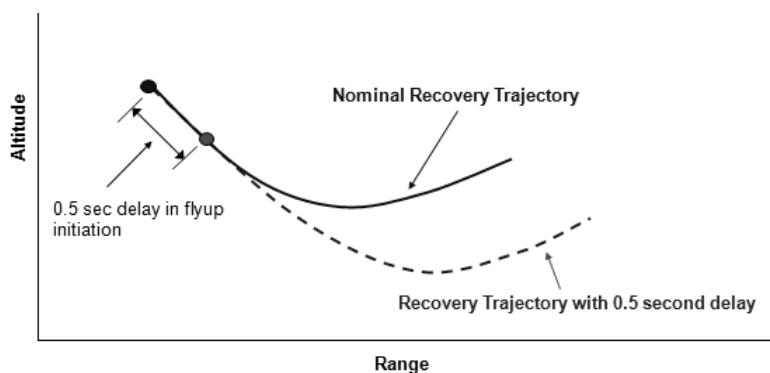


Рис. 7. Концепция настройки АПТ

Altitude – высота

Range – дальность

0.5 sec delay in flyup initiation – задержка 0,5 с при активации маневра спасения

Nominal recovery trajectory – номинальная траектория спасения

Recovery trajectory with 0.5 second delay – траектория спасения с задержкой 0,5 с

Летные испытания

Летные испытания АСПСЗ проводились в целях подтверждения безопасности применения этой системы, возможности ее эксплуатации при отсутствии вмешательства пилота в выполнение задачи и предупреждения столкновения.

Что касается *безопасности применения*, то были осуществлены экстенсивные, с использованием имитатора, наземные испытания и отдельные испытания во время полета, чтобы подтвердить, что любое неисправное состояние, которое могло бы вызвать ненадежное функционирование АСПСЗ, было обнаружено и не препятствовало решению задачи или активировало запрет на работу АСПСЗ.

Невмешательство в выполнение задачи – испытания при отсутствии ложных предупреждений – была главной рабочей характеристикой, и бульшая

часть летных испытаний была посвящена оцениванию работы при отсутствии ложных предупреждений. При этом были проведены две большие группы испытаний. Во время испытаний на предупреждение столкновений проводился анализ располагаемого времени для маневра ухода в соответствии с тем, как это описывалось ранее. Наконец, оценивание ложных предупреждений выполнялось путем мониторинга рабочих характеристик системы в широком диапазоне оперативных летных заданий, включая полет при низком уровне маскирующих свойств местности, полеты с использованием оружия по объектам местности и бой класса «воздух – воздух». В идеале пилот должен быть способен выполнять любые существующие летные задания без единого срабатывания АСПСЗ. Наиболее сложными фазами для АСПСЗ были обстрел наземных целей с воздуха под малым углом на бреющем полете и полет при низком уровне маскирующих свойств местности. Задачу атаки с бреющего полета над гладким рельефом удавалось проводить на самой малой высоте по сравнению с любым другим летным заданием. Полет при низком уровне маскирующих свойств местности обеспечивал самый близкий подход к горному рельефу. Проверка вероятности выработки ложных предупреждений была сосредоточена именно на этих двух элементах, но включала и стандартные полеты с использованием оружия, дозаправку топливом в воздухе, маневрирование во время боя класса «воздух – воздух» и высший пилотаж. Летные испытания продемонстрировали отсутствие ложных предупреждений для всех типов летных заданий, включая полет при низком уровне маскирующих свойств местности на высотах до 90 м над изрезанным рельефом и до 30 м над гладким.

Предупреждение столкновений – испытания на предотвращение столкновений заключались в ведении самолета к земле при различных условиях полета. В качестве средства, обеспечивающего постепенное увеличение риска во время летных испытаний, для оценивания системы активно использовалась АПСС. Эта система позволяла на безопасной высоте оценивать маневр спасения и прогноз траектории спасения, вырабатываемые АСПСЗ, и утверждать их до летных испытаний, тем самым повышая их безопасность. Когда начиналось испытание, использовалось значение высоты из буфера, чтобы искусственно поднять высоту цифрового рельефа, что заставляло АСПСЗ начинать маневр спасения задолго до приближения самолета к реальному рельефу. Автоматическое спасение оценивалось в следующем аспекте: насколько близко оно позволило самолету подойти к рельефу, не используя информацию из буфера. Испытывались конфигурации самолета и летные параметры широкого диапазона. На рис. 8 показана траектория типичного автоматического спасения при полете над плоским рельефом. На рисунке представлены высота местности, высота местности с данными, хранящимися в буферах, расчетная траектория в момент начала спасения и фактическая траектория спасения. На рис. 9 представлена типичная кривая автоматического спасения при подлете к горному рельефу.

Усовершенствования системы были реализованы в прошлом году компанией «Локхид Мартин» на основе рекомендаций по итогам предыдущих летных испытаний. Они включали более точный алгоритм прогноза траектории, оптимизацию формы развертки и адаптированные данные буферов безопасности. Эти усовершенствования были проверены в полете и показали хорошие первоначальные результаты. Пример мгновенной реакции системы во время полета на малой высоте представлен на рис. 10.

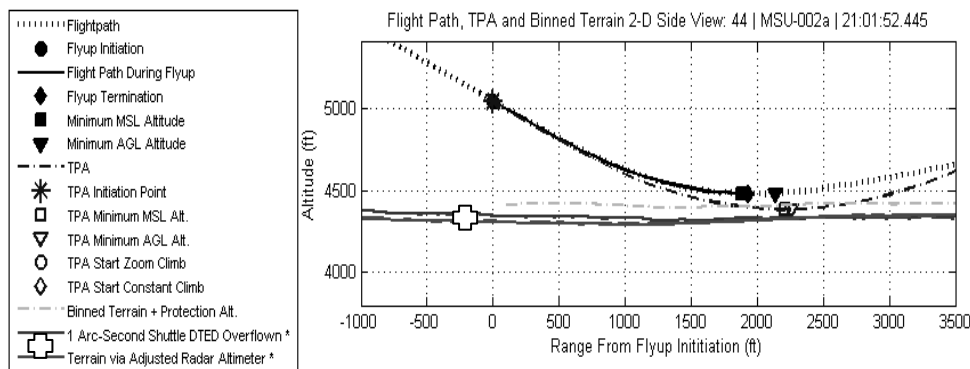


Рис. 8. АСПСЗ-траектория при наборе высоты над гладким рельефом

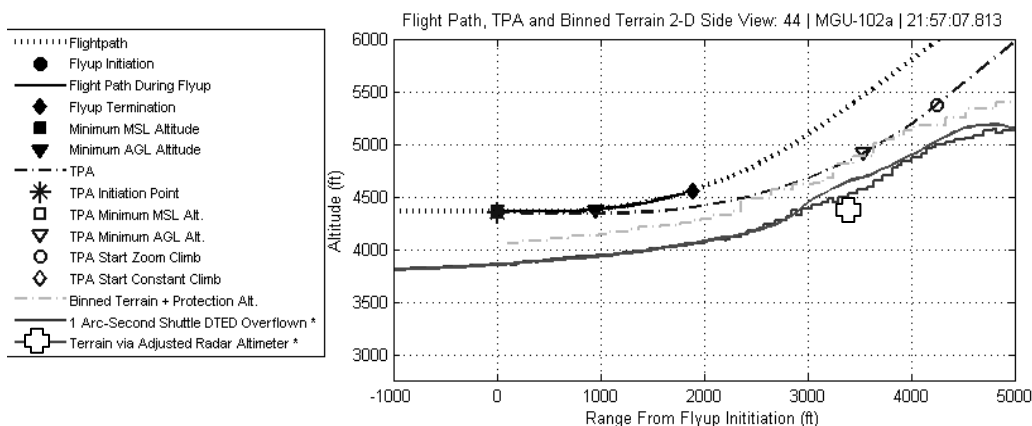


Рис. 9. Профиль АСПСЗ при наборе высоты над горным рельефом

Экспликация к рис. 8 и 9:

Flight path – траектория полета

Flyup initiation – активация набора высоты

Flight Path During Flyup – траектория полета во время набора высоты

Flyup Termination – прекращение набора высоты

Minimum MSL Altitude – минимальная высота над средним уровнем моря

Minimum AGL Altitude – минимальная высота над уровнем земли

TPA – АПТ-траектория

TPA Initiation Point – точка активации АПТ

TPA Minimum MSL Alt. – минимальная высота над средним уровнем моря АПТ-траектории

TPA Minimum AGL Alt. – минимальная высота над уровнем земли АПТ-траектории

TPA Start Zoom Climb – начало участка резкого набора высоты АПТ-траектории

TPA Start Constant Climb – начало участка установившегося набора высоты АПТ-траектории

Binned Terrain + Protection Alt. – рельеф, построенный по данным гистограммы + высота предотвращения столкновения

1 Arc-Second Shuttle DTED Overflown – ЦМР местности испытаний на основе данных РТСШ с разрешением 1 угл.с

Terrain via Adjusted Radar Altimeter – рельеф по данным отъюстированного радиовысотомера
Altitude (ft) – высота (в футах)

Flight path, TPA and Binned Terrain 2-D Side View – траектория полета, АПТ-траектория и рельеф по данным гистограмм (двухмерная боковая проекция):

Range From Flyup Initiation (ft) – дальность с момента активации набора высоты (футы)

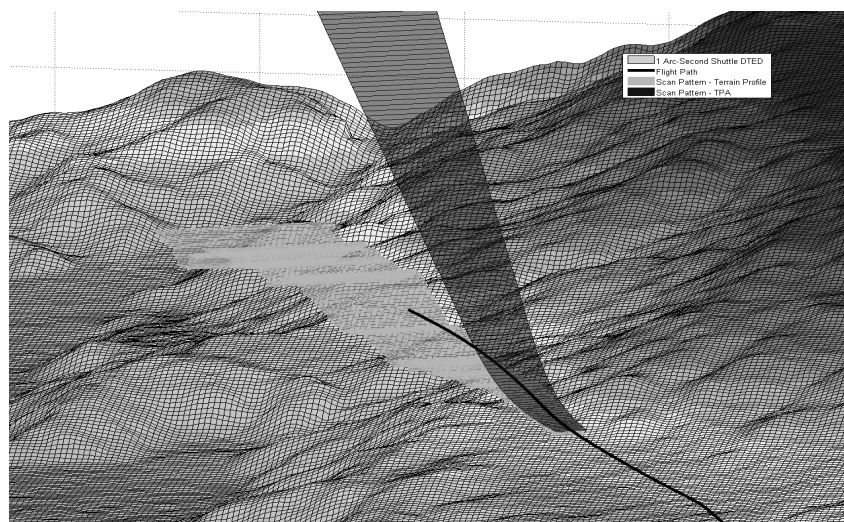


Рис. 10. Работа АСПСЗ во время полета на малой высоте

1 Arc-Second Shuttle DTED – данные ЦМР на основе данных РТСШ с разрешением 1 угл.с

Flight path – траектория полета

Scan Pattern – Terrain Profile – развертка – профиль рельефа

Scan Pattern – TPA – развертка – АПТ-траектория

Самолет летел над долиной и начал подниматься над холмом, и система была активирована всего на 0,2 с, когда самолет подошел очень близко к холму. Как только траектория полета миновала холм, управление было возвращено пилоту. Срабатывание системы автоматического спасения изменило траекторию на $0,3^\circ$. Такая краткосрочная активация не повлияла на летное задание, но обеспечила заданный уровень безопасности. Испытание также включало полеты по траекториям, соответствующим известным авариям, для демонстрации способности системы предотвращать их.

Заключение

Существующие авиационные системы, призванные обеспечить пилоту время для спасения самолета, выдают предупреждения не в автоматическом режиме. Они неэффективны частично из-за того, что должны вырабатывать сигнал предупреждения достаточно рано, чтобы пилот успел осуществить маневр спасения. Это обстоятельство во многих случаях приводит к тому, что предупреждение оказывается ложным. Восприятие предупреждений как ложных заставляет пилота их игнорировать, что в некоторых случаях приводит к аварии. Уровень потерь за летный час для УПСР не изменился более чем за 40 лет, хотя за эти годы были разработаны системы предупреждений многих типов. В этом главная причина необходимости разработки автоматических систем. Они должны разрабатываться так, чтобы срабатывать после момента, когда пилот осуществил бы маневр спасения самолета без использования системы. В результате система автоматического спасения существенно уменьшает восприимчивость пилотом ложных предупреждений.

Ранее обсуждалась работа системы для самолета-истребителя. На деле автоматическое спасение может использоваться на самолетах любых типов с

цифровыми органами управления. В настоящее время ведутся исследования, целью которых является встроить АСПСЗ в аналоговые бортовые управляющие ЭВМ. К ним можно было бы добавить интерфейс, который позволил бы цифровому компьютеру приводить в действие ручные органы управления для автоматического выполнения маневра спасения. Цифровой компьютер также выполнял бы функции сохранения целостности данных для обеспечения безотказной работы комбинированной аналогово-цифровой системы.

По мере внедрения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) автоматическое спасение понадобится и для них для предотвращения столкновений между БЛА и пилотируемыми самолетами и между БЛА и землей.

Все это лишь начало создания долгожданной системы, которая предотвратит аварии. Выигрыш будет гигантским, так как будут спасены и люди и самолеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Swihart, et al**, Techniques for Integrating Automatic Collision Avoidance Systems into Air Vehicles VSDIA , Budapest Hungary, 11 November 2008.
2. **Swihart, et al**, Automatic Collision Avoidance Technology, UAS Conference, Paris, France, June 2007.
3. **Swihart, et al**, A System to Prevent Mid Air Collisions, 10th St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, St. Petersburg, Russia – 26 – 28 May 03.
4. **Swihart, et al**, Autonomous Collision Avoidance for Air to Air Operations AIAA/ICAS International Air and Space Symposium, Dayton Ohio, 14 – 17 July 03.
5. **Swihart, et al**, Integration Techniques for Preventing Collisions between Air Vehicles, 8th Mini Conference on Vehicle System Dynamics Identification and Anomalies 11 – 13 Nov 02 Budapest, Hungary.
6. **Swihart, et al**, A Sensor Integration Technique for Preventing Collisions Between Air Vehicles, Sensors International Conference, Osaka, Japan Aug 2002
7. **Swihart, et al**, An Automatic Air Collision Avoidance System (Auto ACAS) 8th St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, St. Petersburg, Russia – 28 – 30 May 01.

Abstract. Much work has been accomplished over the past 20 years in the developing and testing of an Auto GCAS. In the past three years, a Fighter Risk Reduction Program (FRRP) has been undertaken by the Air Force Research Laboratory (AFRL) at Wright Patterson AFB. This program is a joint effort between AFRL, NASA Dryden, Lockheed Martin Aeronautics, and the Air Force Flight Tests Center. The FRRP has advanced Auto GCAS technology to a level now capable of production transition. Results of this effort will be discussed in this paper. The F-16 test aircraft is shown in Fig. 1.

Controlled Flight Into Terrain (CFIT) is defined as collision with terrain, water, trees or a man-made obstacle during flight prior to planned touchdown. CFIT includes mishaps where the aircraft is controllable and the pilot is actively controlling the aircraft or the pilot's ability to control the aircraft is reduced due to spatial disorientation. CFIT also includes mishaps where the aircraft is flown in controlled flight to a point where it is no longer possible to avoid unintended ground impact (e.g., attempted maneuver with insufficient altitude or airspeed, low altitude over bank or flight into a box canyon), regardless of subsequent pilot reaction (e.g., add power, maneuver to avoid terrain, etc.). Prevention of CFIT mishaps utilizing Auto GCAS will be presented.

The requirements for Auto GCAS and the order of importance of those requirements will be discussed in this paper.