

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ ИСПРАВНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ (CFIT) ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛЕТОВ НА ГОРНЫЕ АЭРОДРОМЫ

к.т.н. Аль-Аммори Али (НТУ, Сирия), А.С. Швыдченко (НМЦПА, Украина), В.А. Бурмистров (АЛС, Россия)

В статье показаны с применением номограммы, определяющей располагаемое время принятия сенсомоторного решения экипажем до удара о препятствие в зависимости от крутизны скатов гор, причины авиационных происшествий CFIT ВС с системами предупреждения I поколения. Рассматриваются вопросы эксплуатации систем предупреждения II поколения (СРПБЗ, EGPWS и др.)

При формировании характеристик новых зон защиты перспективных систем предотвращения CFIT предлагается использовать информационно-факторный анализ. Впервые вводится понятие – информационно-факторное обеспечение производства полетов при решении проблемы CFIT.

Первой по важности проблемой ИКАО в области безопасности полетов является задача предотвращения столкновений исправных воздушных судов с земной поверхностью (CFIT – controlled flight into terrain). Эта проблема особенно актуальна при полетах в горной местности. Под горной местностью понимается местность с пересеченным рельефом и относительными превышениями 500 м и более в радиусе 25 км, а также местность с превышением по сравнению с уровнем моря 2000 м и более. Пока эта проблема не решена и приносит самый большой ущерб – наибольшее число уничтоженных ВС и погибших [1].

Так, только в 1978-1994 гг. по этой причине произошло свыше 616 происшествий, в которых погибло 8 588 пассажиров и членов экипажей, уничтожено 442 воздушных судна. Ежегодно, по данным ИКАО, уничтожается не менее 26 ВС с 505 смертельными исходами.

В ИКАО создана специальная группа по CFIT, идут разработки навигаторов систем раннего предупреждения (запад EGPWS - Enhanced ground proximity warning system, восток СРПБЗ – система раннего предупреждения приближения земли), но качественно картина аварийности по CFIT почти не меняется.

С 1995 по 2005 год, по данным “Боинга”, эта проблема стала первой проблемой по снятию аварийности и катастрофичности, и даже проблема предотвращения потери управления ВС в полете стала менее актуальной по сравнению с задачами по CFIT.

Проблема CFIT оказалась более сложной, чем предполагалось в 1994-1995 годах, когда стали использовать усовершенствованные системы раннего предупреждения, основанные на экстраполяционных алгоритмах и “вперед смотрящих” (термин разработчиков EGPWS).

Ориентация на применение спутниковой навигации и ее принципов для решения этой проблемы была правильной, но, как показал анализ аварийности по CFIT за 1995 – 2005 г., не вполне достаточной. Нужны принципиально другие, новые подходы, основанные на современных разработках по технике сверхвысоких частот (СВЧ), инженерной психологии, компьютерной технике, импульсной технике, кибернетике[2, 3, 4, 5].

Основной характеристикой любой системы предупреждения является зона защиты вокруг ВС, где по сигнализаторам экипаж упреждает столкновение. Рассмотрим формирование этих зон с применением новых идей.

По данным ИКАО (например, журналы ИКАО) зоны предупреждения, предлагаемые западными специалистами, представляют собой ряд концентрических окружностей (овалов, эллипсов), располагаемых в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Первой зоной

является зона информации для экипажа о потенциально возможном столкновении с землей или летающим объектом. Последняя зона около ВС - для реализации “свободного полета” и является зоной защиты. По ИКАО она имеет только дальнюю границу и формируется в процессе полета или по данным спутниковой навигации (EGPWS) или полуактивными методами вторичной радиолокации при предотвращении столкновения самолета с самолетом.

Нами был проведен анализ типовых авиакатастроф по CFIT за периоды 1979-2003гг. – показан в табл. 1. (Таблица расчета α_{cp} - угла крутизны склона и tp_{cp} - располагаемого времени до удара). Из данных анализа видно, что все 100% авиакатастроф произошли при большой крутизне склонов гор (угол α более 38° - в среднем) и очень малом располагаемом временем до удара о гору при принятии решения экипажем (в среднем 12 секунд).

Таблица 1

Расчет α_{cp} и tp_{cp} по перечню типовых катастроф CFIT

Год	Тип ВС	Горы	Угол склона горы α	Располагаемое время tp_{cp} до удара о гору
1992 г.	A320	Вогезы	более 30°	≈ 15 сек GPWS
15.11.1993 г.	АН-124 Аэростар	Иран Керман	$30^\circ-50^\circ$	ССОС I раз 49 сек, II раз 13 сек
12.12.1995 г.	ИЛ-76 СУ-27-3шт	Вьетнам Камрань	более 30°	менее 15 сек для 3-х СУ-27 система сигнализации опасной скорости (ССОС)
7.01.1989 г.	ИЛ-76	Ленинакан	более 60°	3-5 сек ССОС
3.04.1996 г.	Б-737	Дубровник	более 40°	10 сек GPWS
28.08.1996 г.	ТУ-154М	Шпицберген	более 50°	9 сек ССОС
декабрь 1995 г.	Б-757	Колумбия Кали	более 35°	9 сек GPWS
23.12.2003 г.	АН-140	Иран Исфахан	более 50°	7-10сек система предупреждения приближения земли (СППЗ) 7 метров по высоте от вершины - удар
1998 г.	ЯК-42	Салоники	более 30°	$\approx 15-17$ сек ССОС
28.11.1979 г.	Д С10-30	Эребус	более 30°	15 сек GPWS
средние α , tp			$\alpha_{cp} \geq 38^\circ$	$tp_{cp} = 11,6 \approx 12$ сек
Вывод:	Типовые катастрофы CFIT в 1979-2003 гг. произошли при большой крутизне склонов гор			Очень малое время для принятия сенсомоторного решения КВС

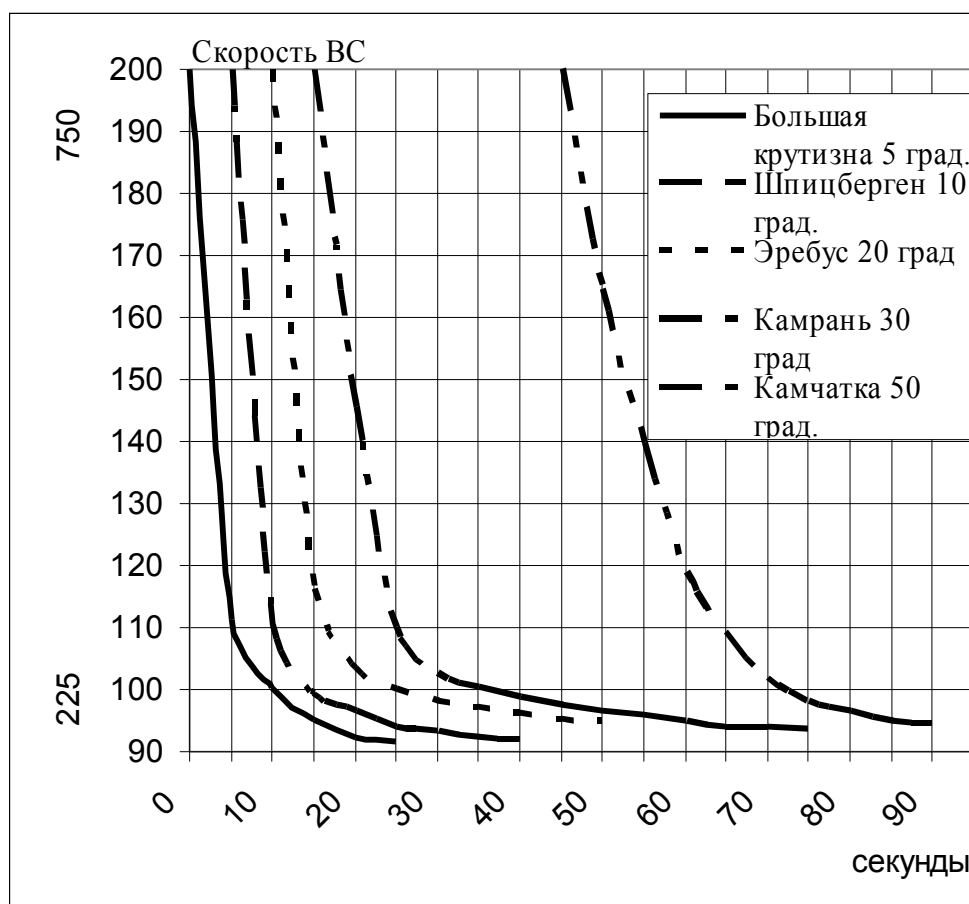
Примечание:

1. При АП с АН-124 ССОС срабатывала два раза - первый раз при склоне средней крутизны время t_p было 49 сек – экипаж успел отреагировать, при втором разе – склоне большой крутизны - 13 сек – не успели – ВС уничтожено, экипаж погиб [6].

2. В АП около Камрани погибли три СУ -27 группы “Русские витязи”, а ИЛ -76 был сохранен только благодаря мастерству пилота [5].

3. В течении более 30 лет в рекомендациях расследователей было требование к пилотам – “энергичнее реагировать”, хотя, по данным инженерной психологии, минимальное сенсомоторное время принятия решения оператором при четырех логических условиях не менее 20 сек [5].

Нами были также проведены теоретические расчеты по определению располагаемого времени для систем ССОС, GPWS, СППЗ и создана специальная номограмма (рис. 1). Из нее видно, что при существующих системах предупреждения I поколения (пока это большинство ВС) наблюдается отрицательная закономерность – чем круче скат горы, тем меньше располагаемое время t_p до удара при принятии решения КВС (при вертикальной скале $t_p = 0$).



0-4-5 Зона абсолютной (100%) фатальности и авиакатастроф

Рис.1. Номограмма Швыдченко определения максимально располагаемого времени ССОС, СППЗ, GPWS до столкновения с горным препятствием (горы, сопки, скалы и т.д.) в зависимости от крутизны скатов гор (составлена в соответствии с [3])

Топографическая характеристика склонов (скатов) [7]

1.	Очень пологий	до 5 градусов
2.	Пологий	5-10 градусов
3.	Средней крутизны	10-20 градусов
4.	Крутой	20-30 градусов
5.	Большой крутизны	больше 30 градусов

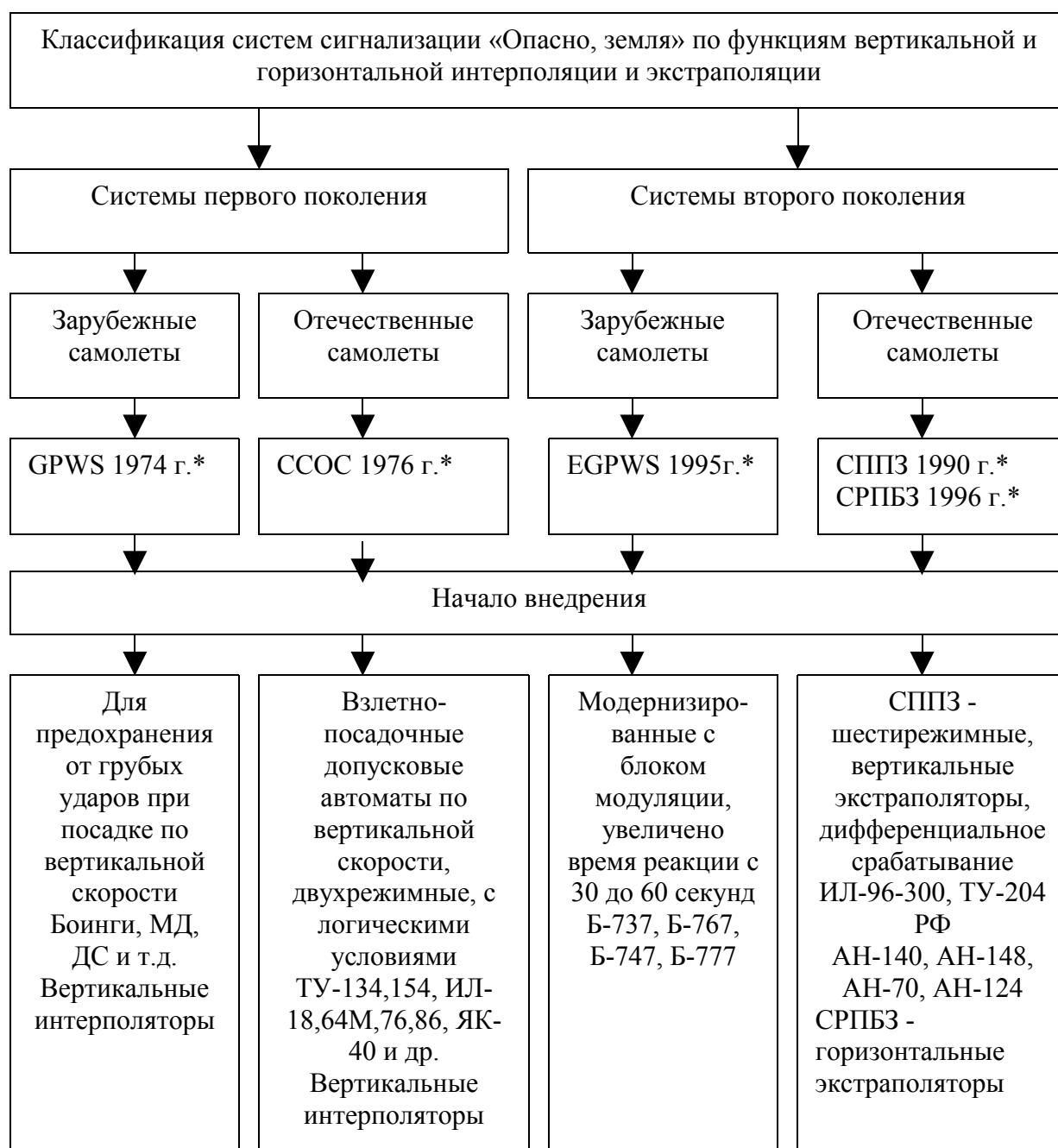


Рис. 2. Классификация автоматов сближения - систем предупреждения, составлена по [1, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]

Примечание:

1.* Начало внедрения систем

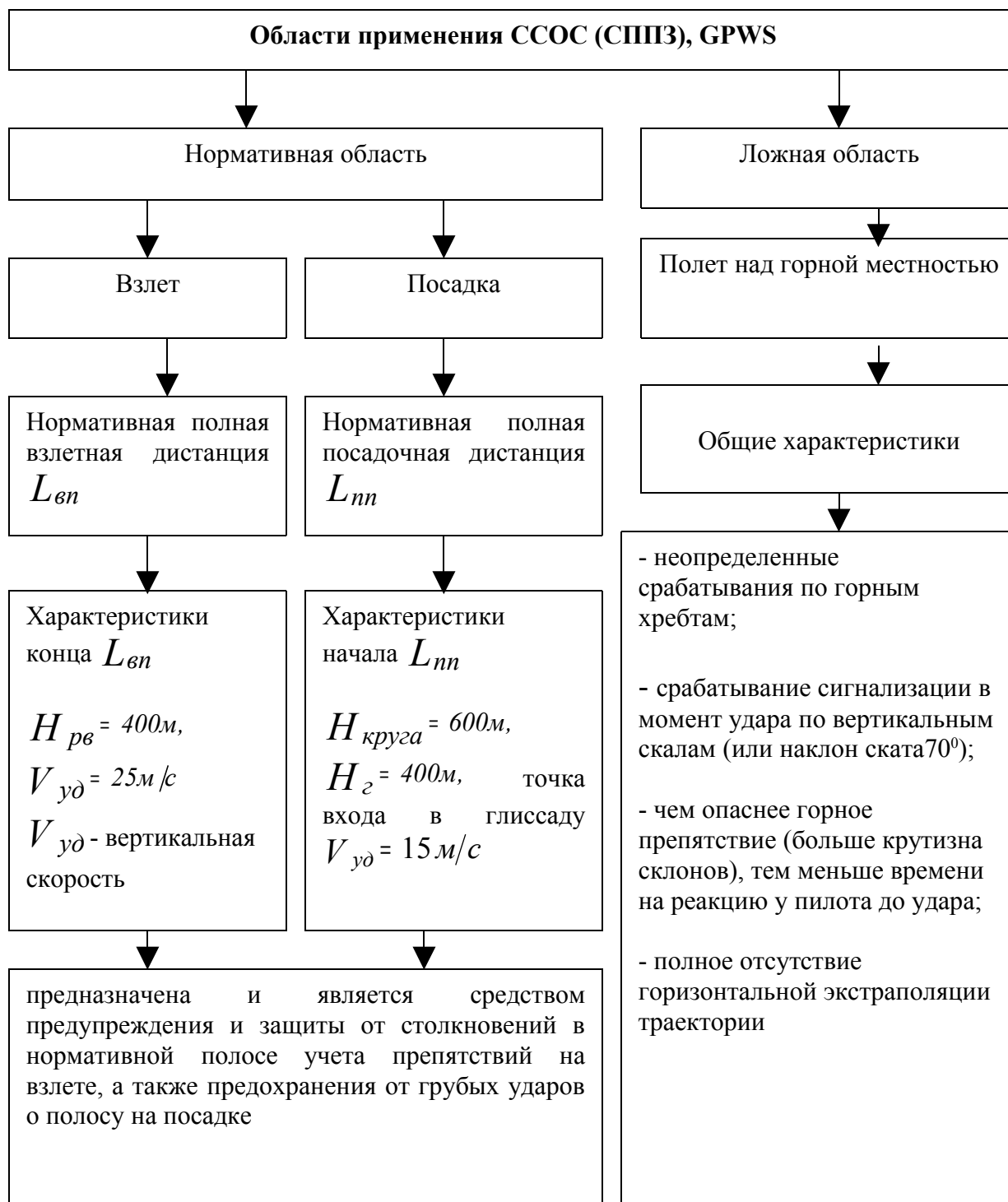
2. В 1997-2006 гг. в Украине и в Российской Федерации шли разработки так называемых систем раннего предупреждения на технологической базе спутниковой навигации.
3. Кроме того, ЗАО “Транзас” создало ТАWS класса А (terrain awareness and warning system) – ТТА – 12 (S), АОЗТ “Украинский НИИ радиоаппаратуры” (г. Киев) создал СППЗ-2000. В России имеются СППЗ-1-2, СППЗ-85-01, СППЗ -2005 ОАО “Аэоприбор - Восход”, а в США – Mark – VI.

Таблица 3

Этапы применения ССОС

№ п/п	Этап. Местность	Полеты		
		равнина	холмы	горы
1.	1975-1980 гг. Начальный этап внедрения и эксплуатации: нормальные ССОС по функциональному названию «взлет-посадка»	Этапы взлета и посадки L_{nv} , L_{np} пересеченная местность, полоса учета препятствий		В РЛЭ гор нет
2.	1980-1985 гг. Этап появления вырожденных (сингулярных) ССОС с ложными характеристиками по РХ на взлете – появление полетов над горной местностью - в функции ССОС		Внесение полетов над холмистой местностью в РЛЭ в ССОС	Внесение полетов над горной местностью в РЛЭ в ССОС
3.	1985-1997 гг. Этап дальнейшего «усовершенствования» вырожденных ССОС, полное удаление режима взлета из рабочей характеристики и замена на двухступенчатый допуск по снижению	Внесение в РЛЭ: «можно применять над любой местностью»	Внесение в РЛЭ: «можно применять над любой местностью»	Внесение в РЛЭ: «можно применять над любой местностью»

Причина сингулярности (вырожденности) автоматов сближения: полное отсутствие фундаментальных методологических исследований по анализу функций разрабатываемой системы, принципу действия функциональных схем, области применения и т.д.



Примечание: 1. СППЗ - $H = 750M$, 2. Ложная область определена в 1995 г.

Рис. 3. Общая характеристика нормативной области применения автомата ССОС, СППЗ, GPWS [14] и границы ложной области при полетах на горные аэродромы

Если точками в координатах t_p, V нанести на номограмму авиакатастрофы, то видно, что при CFIT существует зона фатальности при $\alpha > 30^\circ$ и $t_p \approx 15 - 20 \text{сек}$ – гибели ВС и пассажиров, экипажа. Под зонами фатальности понимается часть зоны защиты около ВС, где параметры по скорости, располагаемому времени до столкновения с горой, величине угла

склона настолько опасны, что происходит неизбежная (фатальная) гибель ВС и людей. Почему такие зоны фатальности в характеристиках систем существовали более 30 лет и частично существуют сейчас? [22].

Системы I поколения ССОС, GPWS и II поколения СППЗ (например, установлена на АН-140), работающие от радиовысотомера, не могут снять аварийность по CFIT из-за этой зоны. GPWS, ССОС, СППЗ – это, в сущности, вертикальные интерполяторы или экстраполяторы (СППЗ, шесть режимов). Они определяют опасные высоты и скорости под воздушным судном. По принципу действия имеют один режим – ручной – действия экипажа на табло «Опасно, земля». При очень крутых склонах гор имеют зоны фатальности. Значит, новая система раннего предупреждения должна определить крутизну склонов и предупредить экипаж по α и t_p . Системы I поколения не определяют опасные параметры впереди ВС, не имеют функции горизонтальной экстраполяции, т.е. принципиально не могут этого делать (рис. 2, 3, табл. 3).

Эта функция есть у систем II поколения – EGPWS – усовершенствованная GPWS и СРПБЗ – система раннего предупреждения близости земли. Анализ из области применения и границ показал, что они – представляют собой горизонтальные экстраполяторы [17, 18], которые работают по принципам спутниковой навигации, имеют зоны и пространства защиты впереди ВС (в горизонтальной и наклонной плоскости), но по-прежнему только ручные. Кроме того, весьма сложны по конструкции – цифровая база EGPWS – 15 тыс. аэродромов, трассы всего мира, рельефа земли и т.д., стоимость системы – 150-200 тыс. долларов США.

Эти системы не полностью снимают зону фатальности по следующей причине:

Зоны защиты по ИКАО не имеют ближней границы, исключающей зону фатальности (зона защиты систем I поколения ССОС, GPWS, СППЗ существует только на пологих склонах гор, а около ВС – зона фатальности). Не имеют ближней границы защитные пространства (зоны) и существующие системы раннего предупреждения EGPWS и СРПБЗ. Пространство защиты начинается сразу же за текущими координатами положения ВС, т.е. в зоне, где экипаж фатально не может принять сенсомоторное решение. Отсюда их пониженная эффективность.

При обосновании зоны защиты разрабатываемой системы мы использовали принципиально новую зону защиты, состоящую из двух концентрических кругов (овалов, эллипсов), имеющую не одну, как по ИКАО, а две границы (рис. 4):

- дальняя граница при t_p^i 60сек (дальность 50 - 70 км);
- ближняя граница при t_p до удара о гору не менее 20 сек. Такая зона защиты исключает зону фатальности и дает возможность создать не ручную систему раннего предупреждения, а автоматизированную, двухрежимную:
 - в пределах от дальней до ближней границы экипаж работает штурвалом по данным функциональных автоматов системы;
 - в пределах от ближней границы до воздушного судна (зона фатальности), когда экипаж не успевает по t_p до удара принять решение, работает автомат увода от столкновения и набора высоты.

Перспективная система предупреждения, с такой зоной, на наш взгляд, более эффективна.

По характеристикам эта система, должна быть:

- цикличная (цикл по H и D);
- автоматизированная (автомат, ручное);
- двухканальная по датчику;
- собрана по типовой схеме систем предупреждения;
- предельно проста по алгоритмам;
- исключать зону фатальности;

- иметь функцию раннего предупреждения;
- иметь невысокую стоимость;
- область применения – весь парк мировой авиации, включая авиацию общего назначения.

Для формирования зоны защиты с двумя границами она может содержать такие элементы:

- сигнализацию;
- датчик типа сканирующий радиовысотомер (СРВ);
- четыре функциональных автомата (вычислитель α , автомат определения параметров зоны защиты, автомат набора высоты, автомат измерения $\max\alpha$ при сложном горном рельефе).

Автомат максимума крутизны α собран на типовом детекторе, остальные автоматы – программные. В системе применяется датчик нового типа – СРВ. СРВ – сканирующий в горизонтальной и вертикальной плоскости луч антенны передатчика радиовысотомера для циклического определения наклонной дальности (предельная D - 70 - 50 км) и высоты H . Имеет усилитель мощности, электронный сканер на базе преобразователей СВЧ, двухканальный приемник. Выходные сигналы в двоичном коде – наклонная (горизонтальная) дальность до горы, высота, угол сканирования β [22].

Система имеет два режима – ручной (штурвальный) и автоматический. Автомат увода и набора высоты срабатывает, когда располагаемое время до удара равно критическому, т.е. 20 секунд. Автомат работает в комплексе с САУ (в двухканальных АП работает корректор высоты). Этим снимается зона фатальности при полетах в горах с большой крутизной склона (более 30°). Автомат определения максимума α не имеет аналогов. Его функция – определение максимума по крутизне при сложных склонах (хребты, ущелья, скалы и т.д.).

Сигнализация по углу α и t_p , т.е. по зоне защиты, цветная по топоклассификации склонов (пологий – крутой). В отличие от существующих систем раннего предупреждения, EGPWS и СРПБЗ дает информацию пилоту о зоне защиты, а не степени опасности пролета (предупреждающая, опасная), а также она выводится на светосигнальное табло или индикаторы пилотов.

Таким образом, у таких систем центральной функцией является функция предотвращения АП, а не просто раннего предупреждения экипажа.

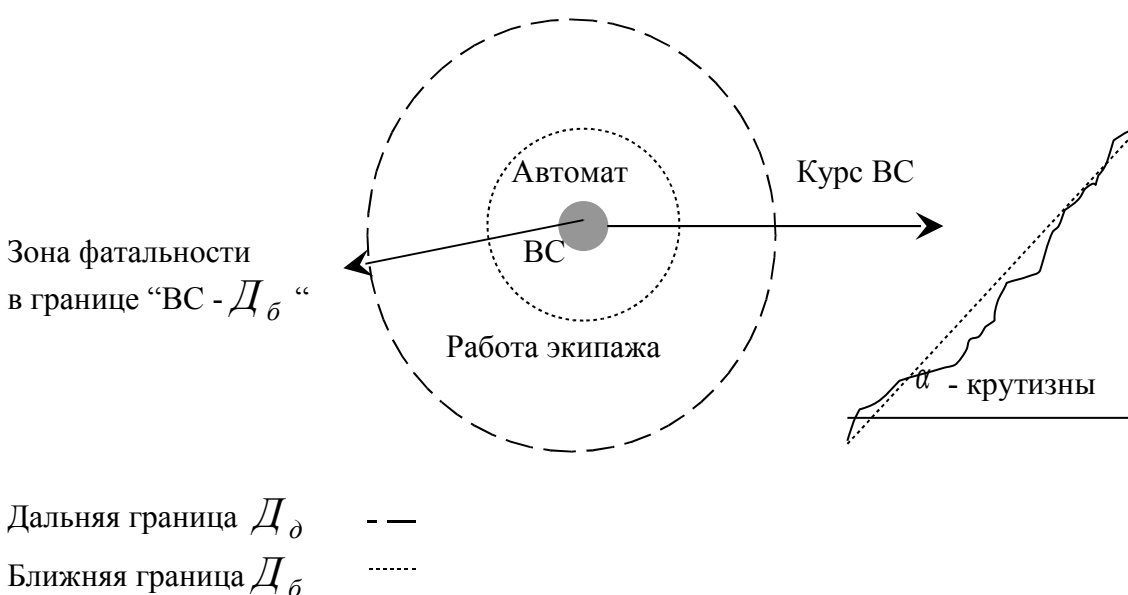


Рис. 4. Зона защиты автоматизированной радиотехнической системы измерения угла крутизны α

Обоснование характеристик зоны защиты автоматизированной радиотехнической системы измерения угла крутизны α

1. Зона фатальности:

$$\alpha_{cp} \geq 38^\circ; tp \leq 12 \text{ сек (статистика СФТИ, см. таблицу 1);}$$

$$\alpha_H \geq 30^\circ; tp \leq 20 \text{ сек (номограмма расчета, см. рис. 1).}$$

2. Дальняя граница зоны защиты:

$$D_{\delta} = 60-70 \text{ км}; tp_{max} = 60 - 80 \text{ сек (обобщенные данные по всем системам).}$$

3. Ближняя граница:

$$D_{\delta} = V_{max_{\alpha}} \cdot tp_{min};$$

$$tp_{min} = 20 \text{ сек};$$

$$D_{\delta} = 2 \text{ км}; (\text{при } V_{max_{\alpha}} = 1000 \text{ м/сек}).$$

4. $t_{кр}$ - момент срабатывания автомата набора высоты:

$$t_{кр} = t_{min}.$$

5. t принятия решения - min 20 - 30 сек (расчет по данным инженерной психологии).

6. Предельная дальность передатчика (ПРД СРВ) не менее 50 км (требование НПП по зоне маршрута в горах). Разрешающая способность СРВ по крутизне не менее 150 – 200 м.

Учитывая то, что полеты в горной местности предоставляют собой предельно сложные полифакторные процессы, когда фаза информационного поиска при принятии решения весьма затруднена, следует обратить особое внимание на разработку и обоснование всех зон ИКАО – от информационной зоны до зоны защиты. Для этого, на наш взгляд, можно применить методологию информационно-факторных подходов [2, 3, 4, 5, 19, 20, 21, 22]. Задачи, которые должны быть решены при этом, показаны в табл. 4.

Таблица 4

Обоснование характеристик зоны защиты автоматизированной радиотехнической системы измерения угла крутизны α методами информационно-факторного анализа

1	Обоснование конфигурации зон	Определение общего количество факторов влияния на формирования зоны
2	Уточнение информационной нагрузки экипажа при полетах на горные аэродромы	Расчет количества информации по энтропии Аль-Аммори Али: $H_{i \text{ уфа}} = - \sum_{i=1}^n p_i \log \sum_{i=1}^n p_i$
3	Учет полифакторности полета в горах	Номограмма расчета по информационно-факторному анализу
4	Предупреждение аварийности по СФТИ	Информационно-факторная статистика по типовым авиапроисшествиям
5	Антистрессовая подготовка летного состава	Методическое руководство для летного состава – КВС, инструкторы по информационно-факторному обеспечению полетов в горах
6	Организационный фактор	Учет информационно-факторных подходов в документах по производству полетов на горные аэродромы

Выводы

1. Учитывая рост аварийности при полетах в горной местности в 2000 - 2005 годах, несмотря на создание систем раннего предупреждения типа EGPWS и CRPBЗ, следует усилить разработку систем предотвращения, основанных на принципиально новых подходах.
2. Центральным методом решения проблемы CFIT следует считать методологию вертикальной и горизонтальной экстраполяции координат и параметров воздушных судов. Эта методология пока не применяется в документах и стандартах ИКАО.
3. Существующие способы и устройства вертикальной экстраполяции не обеспечивают эффективного принятия решений пилотами в горах.
4. Существующие способы и устройства горизонтальной экстраполяции предельно сложны и требуют больших затрат.
5. Наиболее опасным параметром при полетах в горной местности является крутизна склонов гор. Поэтому нужны новые системы предупреждения и предотвращения, измеряющие крутизну гор, горных хребтов, и принципиально по-новому формирующих зону защиты ВС от столкновения при полетах на горные аэродромы.
6. Способы и устройства решения задачи горизонтальной экстраполяции, основанные на принципах работы CRPB, конструктивно просты, используют новейшие технологии СВЧ и могут обеспечить весь парк мировой авиации. Поэтому промышленности мирового авиасообщества следует ускорить научно-исследовательские разработки в этом направлении при решении проблемы CFIT.
7. При обосновании характеристик зоны защиты ВС от столкновения с горами следует учитывать дальнюю и ближнюю границы зоны защиты, и производить расчет параметров зоны производства полетов по методологии информационно-факторного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международная организация гражданской авиации. Поправка № 15 к Правилам аэронавигационного обслуживания. Производство воздушных судов. (Doc 8168). Т.1. Правила производства полетов.- 1 ноября 2006 г.
2. *Аль-Аммори Али.* Транспортные процессы в гражданской авиации и их полифакторность: два подхода к методологии и сравнительной аналитике// Проблемы безопасности полетов. - Москва: ВИНТИ. -2006. - № 8. - С. 36-47.
3. *Хохлов Е.М.* Процессная концепция безопасных полетов, как формула мирового научного приоритета и методология защиты летного эксплуатанта// Проблемы безопасности полетов. – М.: ВИНТИ. – 1994. - №.12. - С. 3-12.
4. *Хохлов Е.М., Аль-Аммори Али.* Авторский процессный подход (авторский взгляд на первое десятилетие внедрения процессного подхода в глобальном масштабе 1995-2005 гг.) – Киев, 2006. – 174 с. (авторское свидетельство № 16117).
5. *Хохлов Е.М., Бурмистров В.А.* Человеческий фактор: Справедлива ли концепция “стрелочника” в глобальном авиатранспортном процессе// Воздушный транспорт. – М.,2005. - № 25, 26, 2006. - № 1.
6. *Мошкиский И.Е.* Мы на огромной скорости сближаемся с горой// Авиакомпания. - 1997. - № 4.
7. Справочник офицера по военной топографии. - М., 1987.
8. Ошибки пилота: Человеческий фактор /Пер. с англ. А.С. Щербова. - М.: Транспорт, 1986. – 262 с.
9. *Федоров С.М., Михайлов О.И., Сухих Н.Н.* Бортовые информационно-управляющие системы: Учеб. для вузов/ Под ред. С.М. Федорова. - М.: Транспорт, 1994. - 262 с.
10. Циркуляр ИКАО. Человеческий фактор в управлении и организации. - № 247-AN/148.
11. *Скрипник. И.Г., Ковтюх* и др. Расследование авиационных происшествий: Учебное пособие. – Киев: КМУГА, 1995.
12. Приложение 13 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО.

Расследование авиационных происшествий и инцидентов. – 8-е изд. – июль 1994.

13. ССОС: РЛЭ ИЛ-62, ИЛ-62М, ИЛ-72, ИЛ-82, АН-24, АН-30, АН-124, ТУ-134, ТУ-154, ЯК-40, ЯК-42., СППЗ – ИЛ-96-300, ТУ-204, АН-140, GPWS- Б-737, Б-767, EGPWS- Б-737, Б-767.

14. *Горецкий Л.И.* Эксплуатация аэродромов. - М.: Транспорт, 1986.

15. Организация управления воздушным движением/ Под ред. Г.А. Крыжановского. - М.: Транспорт, 1988.

16. *Анодина Т.Г.* и др. Автоматизация управления воздушным движением. - М.: Транспорт, 1992.

17. *Колмогоров А.Н.* Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей// Изв. АН СССР. - Сер. матем. – 1941. - Т.5. – С. 3-14.

18. *Винер Н.* Кибернетика/ Пер. под редакцией Г. Н. Поварова. – 1968.

19. *Аль-Аммори Али.* Информационно-факторный анализ возникновения первых моментов опасных полетных ситуаций по данным перспективных бортовых сигнализаторов // Проблемы безопасности полетов. - Москва: ВИНТИ. -2006. - № 9. – С. 9 - 50.

20. *Аль-Аммори Али.* Математическое обоснование центральной модели взаимосвязи показателей прироста эффективности полета с диапазоном полифакторности. // Проблемы безопасности полетов. - Москва: ВИНТИ. -2007. - № 2. – С. 3 – 10.

21. *Аль-Аммори Али.* Информационно-факторный анализ как стратегический принцип борьбы с пожарами силовой установки ВС// Проблемы безопасности полетов. - Москва: ВИНТИ. -1997. - № 4. - С. 21 - 31.

22. *Хохлов Е.М.* Монстр на борту// Воздушный транспорт. – 1997. - № 55.