

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ РИСКА КАТАСТРОФЫ *Boeing 747-200F*. ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ КАТАСТРОФЫ ПО АПРИОРНЫМ ДАННЫМ

д. т. н., проф. *А.Г. Гузий*

В порядке реализации проактивной стратегии предотвращения авиационных происшествий (АП) через управление уровнем безопасности предстоящих полетов в Департаменте предотвращения авиационных происшествий ГрК «Волга-Днепр» разработана методология корпоративного авиационного риск-менеджмента на базе логико-вероятностного моделирования развития АП и системы вероятностных показателей их предотвращения. При отсутствии приемлемой методики оценки достоверности прогнозирования риска АП в предстоящих полетах целесообразно апробировать разработанную методологию в доступной степени через апостериорную оценку вероятности произошедших АП по материалам расследования и априорным данным о количественно оцениваемых факторах риска.

22.12.1999 года в 18:38 местного времени грузовой самолет Boeing-747-200F, борт HL-7451, авиакомпании (АК) Korean Air, выполнявший рейс KAL 8509, сразу после взлета из аэропорта Стенстед, севернее Лондона, столкнулся с землей, разрушился и сгорел. Все члены экипажа (4 человека) погибли. По версии, первоначально выдвинутой Английским комитетом по расследованию авиационных происшествий (ААИВ), занимавшимся изучением причин и обстоятельств катастрофы вместе с АК Korean Air и авиационными властями Республики Корея, наиболее вероятной причиной гибели лайнера явилась неисправность инерциальной навигационной системы (ИНС) № 1, т.е. 1.INU. У членов комиссии, занимавшихся расследованием обстоятельств катастрофы, прежде всего, возник ряд вопросов, касающихся срабатывания сигнализации при рассогласовании показаний на независимых индикаторах пространственного положения самолета [1]. Обстоятельства катастрофы по материалам завершеного расследования были опубликованы только в 2004 году в журнале «Flight Safety Foundation. Accident prevention» [2].

Любое авиационное происшествие, согласно Руководству по предотвращению АП [3], является наиболее существенным источником знаний, способствующих предотвращению АП. Оно подлежит тщательному незамедлительному расследованию, глубокому факторному и системному анализу, детальному изучению всех обстоятельств с обязательным широкомасштабным принятием мер по предотвращению в будущем.

Рассматриваемая катастрофа заслуживает особого внимания потому, что для борта HL-7451 трагический полет 22.12.1999 г. был вторым в этот день, причем в обоих полетах изначально имело место искажение индикации пространственного положения самолета с абсолютно одинаковым проявлением на взлете. Тем не менее, были факторы, из-за которых первый полет завершился без заметных осложнений, а второй - **катастрофой**. Методами сравнительного, статистического и многофакторного анализа именно эти факторы в первую очередь подлежат обязательному выявлению с количественной оценкой их значимости (весомости), вероятности (частоты) проявления и условий развития ситуации. Кластерным анализом состояний системы «Воздушное судно (ВС) - Среда - Человек» необходимо выделить, идентифицировать и классифицировать все имевшие место факторы риска и факторы, предотвращающие развитие АП; установить и количественно оценить их взаимосвязи и взаимозависимости в совокупности трех групп факторов: «Воздушное судно», «Среда», «Человек». К сожалению, опубликованные даже по истечении пяти лет материалы расследования не содержат однозначных ответов на множество вопросов, возникающих при изучении обстоятельств катастрофы. А предложенные мероприятия по предотвращению такого рода АП своей явно низкой эффективностью вызывают удивление специалистов.

В первом вылете утром 22.12.1999 г. из Ташкента в Лондон, сразу после взлета сработал компаратор сигналов, поступающих на указатели пространственного положения самолета по крену и тангажу Attitude Direction Indicator (ADI) командира и второго пилота - реакция на рассогласование сигналов по крену более 4 градусов в течение секунды; включилась звуковая и световая сигнализация с загоранием красного табло INST WARN (ВНИМАНИЕ ПРИБОРЫ) и оранжевых сигналов ATT на табло Central Instrument Warning System у обоих пилотов [4]. Время срабатывания сигнализации и условия на взлете в опубликованных материалах не приводятся. Командир сравнил показания своего ADI с показаниями ADI второго пилота и с показаниями резервного индикатора, обнаружил ошибку в индикации крена своего ADI (тангаж – без рассогласования) и передал управление второму пилоту. По окончании взлета командир переключил свой указатель ADI на резервную ИНС 3.INU. Разница в показаниях крена устранилась. Полет завершился без осложнений посадкой в Стенстеде.

После посадки командир вернул переключатель в положение NORM, а бортинженер, в соответствии со справочником по неисправностям FRM, сделал запись в журнале о неправильной индикации крена на ADI командира. Данные по экипажу не публикуются. Поскольку полет прошел нормально официальному расследованию он не подвергался. А напрасно, поскольку, как выяснилось в этот же день, действия экипажа отложили АП на несколько часов.

Во время разгрузки-загрузки самолета в Стенстеде корейский техник и инженеры фирмы FLS Aerospace, выполняющей обслуживание самолетов АК Korean Air в Стенстеде, провели оперативное техническое обслуживание (ТО). Но, вопреки логике и рекомендациям справочника по устранению неисправностей (FIM), которого они при себе не имели, инженеры FLS Aerospace вместо требующейся замены ИНС 1.INU провели чистку контактной группы и тестирование исправного ADI командира. Справочник FIM предписывает в данном случае менять ИНС или перед взлетом переключить неправильно показывающий ADI на резервную ИНС.

В 16:30 на борт прибыл сменный экипаж, но был ли он проинформирован о проблеме с индикацией пространственного положения самолета – однозначно не установлено. Однако, можно предположить, что сменный экипаж проинформирован не был, т.к. он прибыл на самолет, когда неисправность индикации пространственного положения уже считалась устраненной инженерами FLS Aerospace.

Пилоты сменного экипажа, как установлено в ходе расследования, не были идеально укомплектованной командой. Существенна разница в возрасте и летном стаже: возраст командира - 57 лет, налет 13 500 часов, из них на Boeing-747 – 8 500 часов; возраст второго пилота – 33 года, налет 1 400 часов, из них на Boeing-747 – 195 часов.

При готовности к полету в 17:27 из-за возникших проблем, связанных с оформлением и прохождением плана полета и с буксировкой самолета, разрешение на руление было получено только в 18:25, т.е. с наступлением темноты на аэродроме вылета. Сохранившиеся записи переговоров свидетельствуют о накоплении нервного напряжения, даже раздражительности у членов экипажа, особенно у командира. Он то сам вступал в радиопереговоры со службой УВД при запуске двигателей и рулении, выполняя функции второго пилота, то отчитывал второго пилота за то, что тот не отвечал на вызовы. В результате экипаж воздерживался от общения с командиром.

Взлет до входа в облачность (нижняя кромка – 130 м) прошел нормально. Но, как и в предыдущем полете, на 17-й секунде после отрыва от ВПП, на высоте 200 м, согласно данным речевого регистратора, включилась сигнализация по команде с компаратора о рассогласовании показаний на индикаторах ADI командира и второго пилота. На высоте 400 м опять сработала звуковая и световая сигнализация, однако свидетельств адекватной реакции кого-либо из членов экипажа нет. Внимание экипажа, по мнению исследователей, было сконцентрировано на предстоящем левом развороте в районе маяка DME в 2,8 км от ВПП – прохождение зоны мониторинга звуковой эмиссии в районе

аэропорта. На высоте 650 м сигнализация включилась в третий раз, когда штурвал был отклонен на 30 градусов влево, самолет вошел в левый разворот, из которого уже не вышел. ADI командира показывал отсутствие крена и увеличение отрицательного угла тангажа. Информация о многократном включении сигнализации свидетельствует о ее принудительном отключении, как минимум дважды. Мотивы, порядок или исполнитель отключения однозначно не установлены, но, судя по бездеятельности второго пилота и отсутствию каких-либо команд со стороны командира, очевидно, что отключение сигнализации производил командир, устраняя помеху в ведении интенсивных радиопереговоров на взлете. Остальные члены экипажа кратковременное включение сигнализации могли принять за периодические кратковременные сбои в работе одного из приборов или за неисправность самой сигнализации (что также нельзя исключить).

Бортинженер (БИ) пытался на родном языке (по-корейски) привлечь внимание пилотов словами: «Указатель крена не работает». Но пилоты, занятые пилотажем и переговорами с центром УВД, не придали значения этой информации. При крене в 30 градусов БИ повторил «Крен, крен, ...», но пилоты не отреагировали и на этот раз. Второй пилот не докладывал ни о срабатывании сигнализации, ни о предупреждении БИ, ни о показаниях своего ADI. В поисках причины такой пассивности второго пилота расследователями выдвинуты две гипотезы: либо был занят решением других задач и не обратил внимания на предупреждения, либо сознавал ситуацию, но, пребывая в подавленном состоянии после придинок командира, воздержался от обращения к нему.

У автора есть основания и для третьей гипотезы. Второй пилот информацию о неправильных показаниях на ADI воспринял, но, не установив, к которому из двух ADI она относится (поскольку сигнализация обезличена), считал неправильными показания на своем индикаторе и, положившись на опыт и авторитет командира, хранил молчание, не предпринимая никаких действий без его указаний.

БИ пытался обратить внимание экипажа на поведение самолета словами «тревожный индикатор» и «крен» вплоть до столкновения с землей, которое произошло с креном 90 и отрицательным тангажом 40 градусов на 43-й секунде полета (по первоначально объявленной информации полет длился 55 секунд [1]).

Авиакомпания Korean Air, являющаяся на день катастрофы четвертым в мире эксплуатантом по численности парка Boeing-747 (44 самолета) [5], после катастрофы 22.12.1999 г. предприняла некоторые меры по предотвращению АП:

- ввела требования ко вторым пилотам активнее влиять на решения, принимаемые командиром (вопрос – каким образом?);
- проводит тренинг по действиям во внештатных ситуациях (вопрос – изменена ли программа тренажерной подготовки?);
- улучшила стандартизацию летных операций (вопрос – каких и каким образом?);
- создала отдел, ответственный за качество полетов (вопрос – учтены ли при этом рекомендации ИКАО?);
- увеличила численность технического персонала за рубежом (вопрос - каким образом низкий профессиональный и исполнительский уровень персонала компании, выполняющей ТО, и несогласованность в их действиях можно компенсировать увеличением количества специалистов, откомандированных от компании-эксплуатанта?);
- все самолеты оснастила справочниками FIM.

При наличии такого количества вопросов, оставшихся без ответа, сложно судить об эффективности принятых мер, тем более что до сих пор не существует общепринятой методики оценки такой эффективности, как и показателей предотвращения (предотвращаемости) авиационных происшествий в АК.

В принятых мерах не нашли отражения известные в авиации в 1999 году новые направления: «Управление ресурсами кабины» (CRM) - в обучении летного состава и «Управление ресурсами технического обслуживания» (MRM) [6, 7]. Причем, в 1999 году Программа MRM уже дала ощутимые результаты и Федеральное авиационное управление

США (FAA) издало справочник MRM, в котором дано определение управления ресурсами ТО как «процесс улучшения общения, эффективности и безопасности при выполнении процедур ТО».

Формальное отношение эксплуатанта к предотвращению АП вообще, и к предотвращению повторения уже произошедшей авиакатастрофы в частности, можно объяснить тем, что еще до трагедии с Boeing 747-200F (HL-7451) авиакомпания Korean Air, не смотря на сохранявшуюся сравнительно низкую стоимость ТО самолетов типа Boeing-747 [5], начала избавляться от старых самолетов типа Boeing-747 и А-300 (потерпевшему катастрофу самолету было почти 20 лет) [2]. В отличие от корейской АК, некоторые российские авиакомпании не только до, но и после рассматриваемой катастрофы приобретали эти самолеты. Только за прошедшее с тех пор время они стали еще старше, как физически, так и морально.

При первоначальном ознакомлении с материалами расследования формируется мнение о катастрофе, как о некоторой, практически невероятной, совокупности последовавших друг за другом крайне неблагоприятных событий, происхождение которых имеет случайный характер. Но и случайные события подлежат количественной оценке, причем по априорной, заведомо доступной для предварительного анализа, информации, тем более по окончании расследования АП.

Оценка риска АП по априорной информации может производиться с помощью методики оценки риска столкновений исправных ВС с землей (CFIT), т. е. по Контрольному перечню CFIT [8], разработанному Всемирным фондом безопасности полетов (Flight Safety Foundation (FSF)) в 1994 году. Но угроза АП во втором вылете Boeing-747-200F (HL-7451) 22.12.1999 г. по указанной методике не выявляется даже по окончании расследования. Поскольку оцениваемые факторы риска, содержащиеся в Контрольном перечне CFIT, относятся, главным образом, к условиям при посадке, то для обоих полетов 22.12.1999 г. суммарное значение баллов по этим факторам равно нулю. Отличаются значения только некоторых коэффициентов риска (впрочем, при нулевой сумме баллов все коэффициенты риска в рекомендуемой методике оценки теряют смысл). По географическому расположению аэропорта вылета: Ташкент (Евразия, СНГ), коэффициент риска - 3,0; Стенстед (Западная Европа) – 1,3. По погодным/ночным условиям: Ташкент, в ПМУ – 1, в СМУ - 3 (данные о фактических метеоусловиях при взлете в Ташкенте не приведены); Стенстед – 5,0 (ночь, СМУ). Можно учесть в одностороннем порядке, что первый экипаж пересекал более пяти часовых поясов в полете, тогда коэффициент риска (при посадке) – 1,2. Таким образом, если считать метеоусловия на успешно выполненной посадке в Стенстеде за простые (что маловероятно), то значения рекомендуемых к использованию суммарных коэффициентов риска в рассматриваемых двух полетах существенной разницы не имеют: первый полет – 5,2/7,2 (соответственно при ПМУ/ СМУ в Ташкенте); второй полет – 6,3. Если считать, что метеоусловия в Стенстеде в течение дня 22.12.1999 г. не менялись, то риск АП во втором полете, согласно Контрольному перечню CFIT, был значительно ниже, чем в первом, как ни парадоксально. Не известно, производилась ли предполетная оценка риска АП специалистами АК Korean Air, но очевидно, что методика Контрольного перечня CFIT оказалась неэффективной в плане предотвращения рассматриваемой катастрофы по ряду причин:

- оценка состояния авиационно-транспортной системы, являющейся по определению сложной динамической (со всеми признаками таковой), ограничена возможностями усеченного факторного (но не многофакторного) анализа отдельных компонентов (элементов) системы, выполняемого в рамках рекомендуемого перечня;

- положенный в основу методики несовершенный балльный метод оценки состояний не позволяет учитывать информативность факторов, их совокупностей и корреляций;

- перечень не содержит ряд существенных факторов риска, не учитываются особенности типов ВС, индивидуальные и групповые особенности членов экипажа, их совместимость,

- количественные оценки факторов и коэффициентов риска носят субъективный характер, без научного или статистического обоснования, а, следовательно, подлежат корректировке с учетом изменяющихся условий эксплуатации;

- отсутствует возможность учитывать вероятность (частоту) проявления рассматриваемых факторов риска АП (все рекомендуемые для учета факторы оцениваются как достоверные события);

- не предусмотрена количественная (вероятностная) оценка риска АП в полете.

Если рассматривать систему «Воздушное судно – Среда – Человек», то факторным анализом обстоятельств произошедшей катастрофы выявляется не случайность, а закономерность ее развития, как итог последовательного формирования соответствующих особых ситуаций (ОС), т.е. событий:

А – усложнение условий полета (УУП);

В – сложная ситуация (СС);

С – аварийная ситуация (АС);

К – катастрофическая ситуация (КС).

Каждое из ОС с некоторой вероятностью формируется по соответствующей определенной совокупности количественно оцениваемых факторов из трех классификационных групп («Воздушное судно», «Среда», «Человек»), а именно:

1. **«Воздушное судно».** Искажение индикации пространственного положения самолета по каналу крена.

Во исполнение высоких требований норм летной годности, предъявляемых к бортовому пилотажно-навигационному оборудованию, на самолетах Boeing-747-200 учтена низкая эксплуатационная надежность ИНС. Поэтому, кроме обычного функционального дублирования индикации пространственного положения на ADI у командира и у второго пилота, а также кроме традиционно применяемого в авиации резервного, работающего автономно, индикатора пространственного положения, на таких самолетах еще применено известное в теории надежности структурное резервирование с замещением, со скользящим нагруженным резервом [9]. Но, не смотря на отмеченное известным летчиком-испытателем Дэвидом Дэвисом использование на Boeing-747 «... системы инерциальной навигации с трехкратным резервированием и «невероятными» возможностями» [10], резервирование средств индикации пространственного положения самолета Boeing-747-200 не является трехкратным, оно даже не двухкратное, как это кажется на первый взгляд. Резервная ИНС 3.INU, будучи третьей по номеру, не является третьей в комплекте однотипных систем, обеспечивающих одновременно один потребитель информации. Она является первой и единственной резервной системой, причем для двух ADI одновременно. Поэтому кратность резервирования ИНС в схеме индикации пространственного положения самолета каждому из пилотов составляет: $k = 1/2$.

При сравнительном суммарном оценивании вероятности отказа зарезервированной таким образом системы индикации пространственного положения самолета следует учитывать:

- наличие средств встроенного контроля, средств сигнализации и средств коммуникации, которые, естественно, не абсолютно надежны, поэтому могут и сами отказывать с некоторой вероятностью;

- время, требуемое на обнаружение, опознание неисправности и переключение на резервную ИНС;

- вероятность не переключения (или несвоевременного переключения) на резервную ИНС при отказе основной. Поскольку функция переключения возлагается на дополнительный элемент, включаемый в систему индикации пространственного

положения, на Boeing-747-200F это – пилот, который также имеет свои показатели функциональной надежности [11] (или потенциальной ненадежности действий [12]);

- вероятность неисправного состояния резервной ИНС на момент ее подключения к индикатору при отказе основной.

Кроме того, встроенный контроль правильности показаний на ADI, реализованный на компараторе, не диагностирует состояние систем, не выявляет неисправную ИНС, а лишь сигнализирует требование внимания от пилотов к приборам и указывает тип приборов загоранием обоих оранжевых сигналов АТТ (и у командира, и у второго пилота одновременно). Не предусмотрена сигнализация канала (параметра), по которому фиксируется несоответствие показаний, - по крену или по тангажу. Функции по предварительному распознаванию (диагностированию) неправильно индицирующего ADI, выявлению отказавшего канала, принятию решения и переключению ADI с неисправной ИНС на резервную не автоматизированы, а возложены в полном объеме на члена экипажа. Это сопровождается увеличением функциональной нагрузки, отвлечением пилота от штатной деятельности, что крайне нежелательно на сложных этапах полета, к которым относится взлет. Такой недостаток эргономического характера следует расценивать как дополнительный неблагоприятный фактор отрицательного влияния не только на надежность бортового оборудования, но и на функциональную надежность экипажа. Степень этого влияния зависит от наличия или отсутствия ряда других факторов, в том числе от условий полета, количества и сложности задач, решаемых в этот момент экипажем.

Особенностью имевшего место в рассматриваемом полете отказа индикации пространственного положения является закономерность его проявления именно на взлете, когда коррекционные механизмы ИНС отключаются и погрешность измерения углов линейно возрастает в результате «ухода» гироскопов. В прямолинейном равномерном полете, как и при работе на земле, «уходы» по крену и тангажу автоматически компенсируются в пределах технических возможностей коррекционных механизмов.

При сложившейся практике оценки соответствия типа ВС нормам летной годности следует отметить, что математически не корректно оценивать суммарные вероятности развития особых ситуаций из-за отказов функциональных систем самолета, принимая при этом функциональную надежность экипажа за абсолютную, не оценивая степень снижения функциональной надежности в результате дополнительной нагрузки и отвлечения членов экипажа от штатной деятельности (прием и анализ информации, выработка решения, действия по парированию или нейтрализации отказов). Установлено, что на этапе проектирования и конструирования самолетов рассматриваемого поколения, исходя из количества возможных неисправностей, допущена методологическая ошибка в определении границ нормальной и аварийной эксплуатации с учетом человеческого фактора [13]. Поэтому усилиями разработчиков в целях снижения рабочей нагрузки на экипаж начато создание новой технологии цифровой автоматизации, которая была внедрена на самолетах Airbus A 310 и Boeing-757/767 [14].

Характерно, что значительный процент ошибочных решений при определении отказа практически неизбежен для пилотов любой квалификации и составляет 7% – 12% [15]. Следовательно, если таким вариантом резервирования и удастся сохранить требуемый уровень БП по фактору «Воздушное судно», то уровень БП всей системы «Воздушное судно – Среда – Человек» неизбежно падает при отказе пусть даже зарезервированного бортового оборудования (технических средств). Теряет смысл и понятие достоверности оценки вероятностей зависимых совместных событий, если не учитывать их корреляции. Известный метод перебора гипотез [16], применяемый при условии независимости неблагоприятных факторов (на самом деле они в значительной степени зависимые), для определения вероятности БП приемлем лишь при оценке частного критерия благополучного исхода полета по фактору «ВС». Он определяется как

вероятность события, состоящего в том, что техника не отказала, а если отказы произошли, то экипаж парировал их последствия с некоторой вероятностью [17]:

$$P_{BC} = \prod_{i=1}^n (P_{BC_i} + q_{BC_i} \cdot r_{BC_i}) \quad (1)$$

где P_{BC_i} , q_{BC_i} - вероятность соответственно благополучного и неблагоприятного исходов в случае i -го отказа функциональной системы (ВС), обуславливающего развитие ОС;
 n – общее (возможное) количество таких отказов в полете;
 r_{BC_i} – условная вероятность парирования i -го отказа экипажем.

При этом под функциональной системой ошибочно рассматривать совокупность объединенных для решения общей задачи технических средств, т.е. в рассматриваемом случае – всю систему индикации пространственного положения самолета. При оценке вероятности благополучного исхода полета следует рассматривать каждую отдельно функционирующую систему (подсистему) или техническое средство, включая резервные, т.е. те, отказ которых с некоторой вероятностью может привести к АП (в том числе через первоначальное усложнение условий полета), поскольку оптимальное парирование такого отказа экипажем не гарантировано. Иначе, если обуславливающим развитие АП считать отказ всей системы индикации пространственного положения (ИПП) самолета с вероятностью $q_{ИПП}$, т.е. отказ всех трех ИНС (или соответствующих им ADI) с вероятностью $q_{ИНС}$ - каждая, когда $q_{ИПП} = q_{ИНС}^3$, то для обеспечения $q_{ИПП} = 10^{-9}$ (гарантированное соответствие нормам летной годности) достаточно обеспечить $q_{ИНС} = 10^{-3}$ (один отказ на 1000 часов). Но отказ даже одной ИНС, как показывает горький опыт, обуславливает развитие АП, если не парируется (неправильно или несвоевременно парируется) экипажем, особенно, если не исключено влияние дополнительных факторов риска.

Вероятность отказа, как и вероятность безотказной работы некоторой i -ой системы в полете (или на рассматриваемом этапе полета) за время t определяются через интенсивность отказов системы (λ_i) по данным, которые рассчитываются при разработке, корректируются при испытаниях и уточняются в процессе эксплуатации [9]:

$$q_{BC_i} \approx \lambda_i \cdot t; \quad (2)$$

$$P_{BC_i} \approx 1 - \lambda_i \cdot t. \quad (3)$$

В данном случае, как показало расследование, при оценке вероятности отказа системы индикации пространственного положения в полете следует учитывать не только интенсивность отказов системы (или параметр потока отказов ω - для восстанавливаемых систем) и продолжительность второго полета (t_{II}), но еще, в качестве начальной составляющей, – вероятность отказа системы в предыдущем полете (за время t) и условную вероятность не устранения отказа к очередному полету по вине наземного персонала ($q_{ИП}$) можно определить по формуле:

$$q_{BC_i,II} \approx q_{ИП} \lambda_i \cdot t_I + \lambda_i \cdot t_{II}. \quad (4)$$

Необходимо отметить, что при наличии трех, независимо друг от друга функционирующих ИНС, не представляет технической сложности автоматизация диагностирования неисправной системы, если использовать схему мажорирования: пропускать на индикатор сигнал, который совпадает еще хотя бы с одним одноименным сигналом ИНС, а по принадлежности несовпадающего сигнала определять отказавшую систему и автоматически переключать соответствующий потребитель (ADI) на резервную ИНС. Тем самым возможна реализация адаптивных свойств системы ИПП за счет скользящего резервирования измерителей параметров пространственного положения самолета с горячим резервом, обеспечивающим непрерывность достоверной индикации. Пилотам в полете достаточно было бы сигнала, извещающего о факте переключения на резервную ИНС. Для наземного персонала ошибка в диагностировании исключалась бы

автоматической регистрацией отказавшей в полете ИНС. Такой подход реализован более 30-ти лет назад в серийных бортовых автоматизированных средствах контроля, в том числе, отечественных.

Изложенное в пункте 1 обуславливает необходимость и возможность научно-технического обоснования «Перечня неисправностей, с которыми разрешается вылет с внебазового аэродрома» для каждого типа ВС с количественной оценкой вероятности развития ОС в полете, т.е. степени повышения риска АП по каждой неисправности. При этом в основу «Перечня ...» могут быть положены выполняемые разработчиком при проектировании ВС расчеты вероятностей возникновения ОС при отказах в функциональных системах. Коррекция расчетных данных возможна по результатам испытаний, отработки на тренажерах и летной эксплуатации. Окончательная оценка степени повышения риска АП по каждой неисправности должна периодически производиться эксплуатантом (по мере накопления опыта летной эксплуатации) методом экспертных оценок, с учетом человеческого фактора и факторов «Среда». В группы экспертов следует включать не испытателей, а опытных пилотов, непосредственно осуществляющих летную эксплуатацию данного типа ВС.

2. «Среда». Ограниченная видимость: нижняя кромка облаков – 130 м, темное время суток на момент взлета.

Первый взлет произведен в Ташкенте утром, второй - в Стенстеде вечером, с наступлением темноты. Считается специфической опасностью взлет безлунной ночью во тьме, в так называемую «черную дыру» [18, 19].

Погодные условия в Ташкенте 22.12.1999 г. не приводятся, но очевидно, что видимость в Ташкенте лучше, чем в Стенстеде, тем более в декабре. Следовательно, вероятность отсутствия видимости горизонта на момент срабатывания сигнализации INST WARN на этапе взлета во втором полете априори на порядок выше, чем в первом. Реальные условия при взлете в Стенстеде, как установлено расследованием, подтверждают справедливость такого заключения. Учитывая факт не абсолютной достоверности прогноза погоды, при априорной оценке риска АП вероятность отсутствия видимости горизонта при взлете в Стенстеде в СМУ (момент отказа ИПП, т.е. накопления рассогласования по крену более 4 градусов), как один из факторов УУП, можно принять:

$$q(A_{CMV}) = 0,6. \quad (5)$$

Данные о сложности маневрирования при взлете в Ташкенте отсутствуют. В Стенстеде условия при взлете были дополнительно усложнены наличием мониторинга шумовой эмиссии. Ташкентский аэропорт не обременяет пилотов заботой о чистом прохождении зоны мониторинга. Степень загруженности экипажа (или сложность, обусловленная дополнительными требованиями к качеству пилотирования) на взлете не считается фактором риска в нормальных условиях, но при отказах систем ВС и неблагоприятном влиянии среды функциональная надежность экипажа снижается.

Следовательно, условная вероятность r_{BC_i} в выражении (1) является многомерной функцией, один из аргументов которой – степень сложности выполняемых задач, в том числе неплановых или дополнительных [20, 21].

3. «Человек». Нарушение правил технического обслуживания наземным персоналом при устранении неисправности. Снижение функциональной надежности экипажа при усложнении условий полета.

Неисправность индикации пространственного положения самолета, дважды проявившаяся в полетах Boeing-747-200F HL-7451 22.12.1999 г., относится к тем, которые не подтверждаются при включении систем в наземных условиях без принудительного отключения коррекционных механизмов, т.е. без имитации маневрирования в полете. Этим обуславливается обязательность устранения неисправности в строгом соответствии с предписанием Справочника FIM.

Опыт эксплуатации и результаты анонимных опросов летного и инженерно-технического персонала показывают, что при интенсивной летной работе, особенно в

отрыве от базового аэродрома, 10 - 20% неисправностей, выявленных в полете (из числа не включенных в «Перечень неисправностей, с которыми разрешается вылет с внебазового аэродрома»), к очередному вылету не устраняются по разным причинам, в том числе по вине персонала, выполняющего техническое обслуживание. Более того, существует вероятность ввода неисправности на исправном самолете ошибочными действиями персонала при выполнении ТО и вероятность ввода дополнительной (вторичной) неисправности при устранении предыдущей. Такого рода статистика, как правило, не находит отражения в анализах уровня летной годности при отказах функциональных систем по результатам эксплуатации, следовательно не учитывается при оценке суммарной вероятности особых ситуаций из-за отказов функциональных систем и по самолету в целом. Тем не менее, если имеют место вылеты с неисправностями, то в выражении (4) следует принимать: $q_{ИП} = 0,1 - 0,2$ (в зависимости от технологического и исполнительского уровня выполнения ТО специалистами). Следовательно, если принять, что средняя продолжительность полета 5 часов, интенсивность отказов ИНС - $\lambda_{ИНС} = 10^{-4} / ч$, а $q_{ИП} = 0,1$, то вероятность неисправного состояния ИНС во втором полете: $q_{ИНС_{II}} = 5,5 \cdot 10^{-4}$. Учитывая, что ИНС в составе средств, обеспечивающих ИПП, существенно менее надежна, чем другие компоненты, то можно принять:

$$q_{ИПП} \approx q_{ИНС_{II}} = 5,5 \cdot 10^{-4}. \quad (6)$$

Факт отсутствия справочника FIM у инженеров FLS Aerospace при устранении неисправности характеризует технологический и исполнительский уровень выполнения ТО компанией FLS Aerospace. Но и наличие справочника FIM на борту – не гарантия его применения во всех аэропортах всеми специалистами.

При развитии ОС в полете основные функции по исправлению ситуации принадлежат экипажу. Причем исправлению подлежат не только ситуации, обусловленные влиянием факторов «Воздушное судно» и «Среда», но и ошибки, допущенные членами экипажа (действиями, бездействием несвоевременными действиями). При неожиданном поступлении ложной, противоречивой, неопределенной информации действия члена экипажа в полете оказываются ненадежными более чем в 60% случаев (ошибочные решения, запоздалые или пропущенные действия, растерянность и даже панические реакции) [28].

Отсюда, условная вероятность не исправления командиром ВС (КВС) ситуации типа УУП, обусловленной отказом ИПП с неопределенной информацией об отказе и отсутствием видимости горизонта (ночь, СМУ), определяется следующим образом:

$$q[B_{КВС} / (A_{ИПП} \cdot A_{СМУ})] = 0,6. \quad (7)$$

Предпринятые после катастрофы меры не отражают заинтересованность АК Korean Air в изменении подхода к комплектованию экипажей. Психологические обследования летного состава, проведенные специалистами ЦНИИИ МО РФ, показали, что в каждом шестом экипаже низкая психологическая совместимость и неудовлетворенность от совместной работы. То есть, при комплектовании экипажей без учета совместимости вероятность низкой психологической совместимости пилотов в экипаже равна:

$$q(A_{Эк}) = 0,17. \quad (8)$$

В таких экипажах зарегистрировано увеличение на 30 – 40% (т.е. на 1/3) количества ошибочных действий в особых ситуациях по сравнению с экипажами, укомплектованными с учетом психологической совместимости. Следовательно, условная вероятность не исправления ОС экипажем при достоверно низкой психологической совместимости пилотов (при $q(A_{Эк.docm.}) = 1$) равна:

$$q\{B_{Пил} / (A_{ИПП} \cdot A_{СМУ} \cdot A_{Эк.docm.})\} = 0,8, \quad (9)$$

при комплектовании экипажей без учета психологической совместимости (т.е. случайным образом при $q(A_{Эк}) = 0,17$): эта вероятность будет равна:

$$q\{B_{Пил} / (A_{Пил} \cdot A_{СМУ} \cdot A_{Эк})\} = 0,65. \quad (10)$$

В рассматриваемом трагическом полете имел место фактор, называемый психологами «градиентом авторитета внутри кабины (TAG)», который с точки зрения безопасности полетов не должен быть слишком ярко выраженным между командиром ВС и вторым пилотом [3]. Этот фактор для корейского экипажа усугубляется особенностью национальных традиций в отношениях между старшими и младшими, как по возрасту, так и по занимаемому положению. Анализ аварийности в авиации показывает, что недостатки во взаимодействии членов экипажей более чем в 50% АП оказали негативное влияние на развитие ОС, а в ряде случаев являлись непосредственными источниками их возникновения [22]. Опыт и непререкаемый авторитет командира, обычно рассматриваемые как факторы, предотвращающие АП, не только не гарантируют парирование ОС, а, напротив, в определенных условиях способны оказать отрицательное влияние, как отдельный, трагично весомый, фактор риска АП.

Нет сомнений в том, что во втором полете имело место неправильное представление командиром пространственного положения самолета в полете. Проблема известная и по мере развития авиации, как это ни парадоксально, усугубляемая. Потенциальными факторами риска нарушения пространственной ориентировки (в явном или неявном виде имели место в рассматриваемом полете) являются [22]:

- совмещение выполнения пилотом двух или более задач, в частности пилотирования с ведением радиопереговоров, работой с оборудованием кабины и т.п., (при этом снижается надежность активного контроля за положением ВС в пространстве);
- отсутствие, недостаточность, противоречивость или искажение информации о пространственном положении ВС, в том числе при полетах в СМУ, ночью, из-за необычных условий восприятия, при недостаточной наглядности индикации пространственного положения ВС и отказах пилотажно-навигационных средств;
- ошибки при считывании показаний пилотажно-навигационных приборов;
- переходы от приборного полета к визуальному и особенно от визуального к приборному, при которых изменяются значимость источников информации, степень загруженности пилота их восприятием и переработкой, способы ориентации;
- изменение состояния организма пилота вследствие нарушений режима труда и отдыха, утомления, эмоционального напряжения.

При анализе условий и обстоятельств АП, связанных с нарушением пространственной ориентировки, обращает на себя внимание факт недооценки влияния рефлексов с вестибулярного аппарата на развитие пространственной дезориентации в случае глубокого крена, при пикировании или кабрировании. В этих случаях на человека действуют линейные, угловые и кариолисовы ускорения, вызывающие вестибулярные рефлексы, провоцирующие иллюзорное восприятие движения ВС в пространстве. Изменения по крену и тангажу в рассматриваемом полете до разворота имели плавный характер и необходимо принять во внимание, что доверие к показаниям приборов, вырабатываемое всем процессом летной работы, приводит к тому, что пилот больше верит приборам, чем себе. Кроме того, считается, что при возникновении иллюзий пространственного положения полное доверие к показаниям приборов особенно необходимо [23]. В поиске объяснений действиям погибшего командира Boeing 747-200F автор пришел к предположению о том, что опытный пилот до последних секунд верил показаниям своего ADI, поскольку на нем не выпал красный флажок АТТ сигнализации отказа.

На разборе обстоятельств рассматриваемой катастрофы 85% опрошенных пилотов Boeing 747-200 (АК «Волга-Днепр», 2006 г.) считали, что при такого рода рассогласовании показаний на ADI выпадает красный флажок «АТТ» непосредственно на указателе, индицирующем ошибочные показания. Дальнейший анализ, проведенный

автором, показал, что причина формирования столь ошибочного массового мнения - не в низком уровне знаний пилотов, а в несовершенстве существующих методик практического освоения средств ИПП на самолетах типа Boeing 747-200:

1. Контроль работоспособности сигнализации о рассогласовании показаний на ADI производится методом выключения (не включения) одной из ИНС. При этом на создаваемое рассогласование сигналов срабатывает сигнализация Central Instrument Warning System (INST WARN и АТТ), а красный флажок «АТТ» на неработающем ADI выпадает, сигнализируя полное отсутствие сигналов, но не появившееся рассогласование.

2. В компьютерной обучающей программе SVTMenu Boeing 747-200 (developed by Lufthansa Flight Training) предусмотрена демонстрация ситуации при рассогласовании сигналов крена на ADI, но только на этапе контроля теоретических знаний в разделе «Abnormal Operation», после того, как обучающийся даст правильный ответ на вопрос: «При каком рассогласовании должна сработать сигнализация «WARN»?».

3. Программой тренажерной подготовки пилотов (Lufthansa Flight Training) не предусмотрено моделирование рассогласования сигналов крена на ADI [24], но предусмотрено моделирование «ROLL SYNCHRO FAIL» (воспринимается, как нарушение синхронизации или рассогласование по крену) по каждой из трех ИНС с сигнализацией на табло и выпадением флажка «АТТ» на соответствующем ADI (!).

Приведенные факты обуславливают необходимость доведения до всех пилотов, что, на самолетах Boeing 747-200 *при рассогласовании показаний по крену более 4 градусов на индикаторах ADI командира и второго пилота при включенных ИНС ни на одном индикаторе флажок «АТТ» не выпадает, даже после срабатывания сигнализации Central Instrument Warning System.*

Настораживает статистика относительного количества АП, связанных с потерей пространственной ориентировки у пилотов разной квалификации: у пилотов 1-го класса в три раза чаще (9,7%), чем у пилотов 2-го класса (3,0%) [15]. А исследования статистики АП у пилотов разного опыта, проведенные Aviation Safety, показали отсутствие устойчивой связи между опытом пилота и авиационными происшествиями [25].

Эмоциональное напряжение у экипажа (в первую очередь - у командира), обусловленное возникновением уже описанных незапланированных проблем перед взлетом, усугубилось в полете. Степень эмоционального напряжения пилотов в полете не установлена, но известно, что в аварийных ситуациях при чрезмерном напряжении затрудняется мыслительная деятельность, отмечается сужение объема внимания, скованность движений, ошибочные действия. Нарушение восприятия проявляется в не обнаружении пилотом адресованных именно ему сигналов, причем, могут остаться незамеченными даже сигналы тех индикаторов, на которые пилот смотрел [22]. В рассматриваемой катастрофе сигнализация не имела конкретного адресата и была одинаково неполной как для командира, так и для второго пилота. Усугубляется эмоциональное напряжение быстротечностью развития ОС. На обнаружение, опознание отказа, принятие и реализацию решения требуется некоторый резерв времени. Как показывают результаты исследований, при отсутствии сигнализации отказов среднее время обнаружения рассогласования показаний приборов – 90с, время опознания - до 25с, вероятность обнаружения и опознания соответственно – 0,88 и 0,9 [22]. Наличие сигнализации значительно сокращает время обнаружения, но, как было отмечено, в данном случае сигнализация INST WARN не была адресной по предназначению и не была целевой по месту отказа (нет указания места отказа и нет рекомендаций по действиям экипажу). При неточном тексте светового табло вероятность правильных действий пилота составляет 0,7 при среднем времени опознания отказа 45,0с [23]. А от первого срабатывания сигнализации до столкновения с землей прошло 26 или 38 секунд – время, соизмеримое с требуемым на опознание даже при более совершенной сигнализации отказа.

Известна эффективность опыта взаимодействия в экипаже при преодолении ОС. Но практика показывает, что лишь в 12% случаев преодоление ОС идет на требуемом уровне взаимодействия, когда экипаж работает согласованно и целенаправленно. В остальных случаях под воздействием опасности согласованность действий экипажа нарушается, и каждый член экипажа, прежде всего командир, изолируется, полагаясь на свой опыт [26]. Следовательно, условная вероятность не преодоления экипажем ОС типа АС равна:

$$q\{C_{Эк} / [B_{Пил} / (A_{ИПП} \cdot A_{СМУ} \cdot A_{Эк})]\} = 0,88. \quad (11)$$

Приведенными фактами обосновывается не только целесообразность, но и необходимость подготовки экипажей по Программе CRM с количественной оценкой ее эффективности и оптимизацией периодичности повторного обучения.

В общем случае АП – случайное событие, вероятность (или частота появления) которого зависит от наличия или отсутствия множества факторов риска АП, а так же факторов, предотвращающих АП. Согласно логико-вероятностной модели развития ОС [27], вероятность АП в полете определяется вероятностью совокупности событий, обусловленных наличием или отсутствием отдельных факторов (сочетаний факторов). Совокупности событий находятся в подпространствах, соответствующих тяжести ОС. По информации о рассмотренных и количественно оцененных факторах риска АП в полетах 22.12.1999 г. вероятность катастрофы может быть оценена на основании зависимости:

$$q(K) = q(A_{ИПП} \cdot A_{СМУ} \cdot A_{Эк} \cdot B_{Пил} \cdot C_{Эк}). \quad (12)$$

Поскольку $A_{ИПП}, A_{СМУ}, A_{Эк}$ - события независимые, а $B_{Пил}, C_{Эк}$ - зависимые, то

$$q(K) = q(A_{ИПП}) \cdot q(A_{СМУ}) \cdot q(A_{Эк}) \cdot q\{B_{Пил} / (A_{ИПП} \cdot A_{СМУ} \cdot A_{Эк})\} \cdot q\{C_{Эк} / [B_{Пил} / (A_{ИПП} \cdot A_{СМУ} \cdot A_{Эк})]\}$$

Таким образом, по перечисленным, заведомо известным, факторам риска определяется, что в первом полете оценка вероятности катастрофы, первоначально обусловленной отказом ИПП, с учетом условий по фактору «среда», не превышает 10^{-7} , а во втором полете, согласно оценкам (5) – (11), – более $3 \cdot 10^{-5}$, т.е. при условии равной функциональной исходной надежности экипажей *риск во втором полете более чем в 300 раз выше*, нежели в первом. Если, на основании полной идентичности в обоих полетах, отказ ИПП во втором полете считать событием достоверным, то *оценка вероятности катастрофы* ночью в СМУ для экипажа, укомплектованного без учета психологической совместимости, составляла *0,06*, а для экипажа с заведомой несовместимостью командира и второго пилота – *0,34*.

По результатам проведенной сравнительной апостериорной оценки вероятности катастрофы Boeing 747-200F 22.12.1999 г. в Стенстедде по априорной информации, на основании эргономической оценки средств сигнализации «постепенного» отказа ИНС, в целях предотвращения АП, обусловленных недостаточной надежностью системы ИПП самолета Boeing 747-200 в полете и несовершенством средств диагностики и сигнализации отказов, целесообразно:

1. Со всем летным составом Boeing 747 по СВТMenu изучить внешнее проявление неисправностей средств ИПП, обратив особое внимание на:

- поведение индикаторов ADI и средств сигнализации при рассогласовании сигналов по каналу крена более 4 градусов;
- на *отсутствие сигнала об отказе* (красного «флажка» АТТ) на неправильно индицирующем ADI.

2. Включить в Программу тренажерной подготовки моделирование ситуации 22.12.1999 г. и отработку действий пилота, занятого управлением (PF), при взлете ночью в СМУ с устойчивыми и кратковременными рассогласованиями показаний ADI по крену при входе в облака, в вариантах активной и пассивной деятельности (бездеятельности) пилота, незанятого управлением (PM).

3. В Программу CRM включить:

- изучение механизма построения образа представления пространственного

положения и условий его нарушения с учетом индивидуальных особенностей по аналитической и холистической обработке зрительной информации [22];

- научно обоснованные рекомендации по предотвращению нарушения пространственной ориентировки в полете [20, 22, 28].

4. В соответствии со стандартными эксплуатационными правилами (SOPs) внести в РПП рекомендацию по обязательному оповещению голосом обо всех изменениях режима полета и по подтверждению восприятия информации.

5. Выполнить количественную оценку риска АП для Перечня неисправностей, с которыми разрешается вылет с внебазового аэродрома (MEL), при этом учесть степень увеличения нагрузки на экипаж и вероятность влияния факторов группы «Среда».

Вывод: априорное оценивание риска АП применительно к предстоящим полетам позволяет на этапе их планирования последовательно:

- прогнозировать степень риска АП;
- вырабатывать мероприятия по предотвращению (снижению вероятности) АП, по исключению или снижению вероятности (степени влияния) факторов риска;
- предварительно оперативно оценивать эффективность планируемых мероприятий по показателю «стоимость-вероятность»;
- выбирать оптимальные варианты упреждающего управления прогнозируемым риском АП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aviation week and Spact Technology. – 1999. – 152, No 5.
2. А р а л о в Г.Д. Роковая ошибка//Проблемы безопасности полетов, № 1, 2005.
3. Руководство по предотвращению авиационных происшествий. Doc 9422-AN/923. Первое изд. – ИКАО, 1984.
4. B7437-200 Operation Manual. Aeroplane Systems. Part B,0,12. – Luftgansa.
5. А р а л о в Г.Д. Техническое обслуживание самолета BOEING 747//Проблемы безопасности полетов, № 9, 2000.
6. А р а л о в Г.Д. Человеческий фактор в техническом обслуживании//Проблемы безопасности полетов, № 9, 2000.
7. Tripp E/G/ Human factors in maintenance//Bus & Com. Aviation. – 1999. – 84, No 4. – P. 82 – 87.
8. FSF CFIT Checklist. Evaluate the Risk and Take Action// Flight Safety Digest. Vol.15. No 7/8. July-August 1996. p.26-29. - Flight Safety Foundation, 1996.
9. Г у з и й А.Г. Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронной аппаратуры. - М.:ФВА РВСН, 1999.
10. Д э в и с Д. Пилотирование больших реактивных самолетов. Пер. с англ. Под ред. В.Н.Нартова. – М.: Машиностроение, 1975.
11. Г у з и й А.Г., К у к у ш к и н Ю.А., Б о г о м о л о в А.В. Теоретические основы функционально-адаптивного управления системами «человек-машина» повышенной аварийности.//Мехатроника, автоматизация, управление, № 1, 2005.
12. К у к у ш к и н Ю.А. Комплексное действие факторов полета/Психофизиологическая надежность летчика. Научно-тематический сб. – М.: Воениздат, 1993.
13. А л ь-А м м о р и О.М. Информационный анализ потоков ошибок экипажей при эксплуатации пилотажно-навигационного оборудования//Проблемы безопасности полетов, № 6, 2000.
14. А р а л о в Г.Д. Повысится ли безопасность полетов в XXI веке?//Проблемы безопасности полетов, № 10, 2000.
15. К о з л о в В.В. Человеческий фактор: история, теория и практика в авиации. – М.: Полиграф, 2002.

16. Безопасность полетов летательных аппаратов/Под ред. В.С. Иванова. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2003.
17. Безопасность полетов/Под ред. Р.В. Сакача. – М.: Транспорт, 1989.
18. А р а л о в Г.Д. Опасность ночных полетов// проблемы безопасности полетов, № 10, 2000.
19. FSF Editorial Staff. Floatplane strikes ridge during sightseeing flight. // Yuman Factors & Aviation Medicine. – 1999. – 46, No 6.
20. Авиационная медицина./Под ред. Н.М. Рудного, П.В. Васильева, С.А. Гозулова. – М.: Медицина, 1986.
21. Г у з и й А.Г., Г р и ш у н о в В.Н. Оценка функционального состояния летчика в полете на основании логико-вероятностных методов./Межвуз. научно-технич. сб. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1990.
22. П о н о м а р е н к о В.А., Л а п а В.В., Ч у н т у л А.В. Деятельность летных экипажей и безопасность полетов. – М.: Полиграф, 2003.
23. П о н о м а р е н к о В.А. Авиация. Человек. Дух. – М.: ИП РАН, «Универсум», 1998.
24. B747-200 Simulator. Instructor Operating Manual. – Lufthansa Flight Training, 2003.
25. П л о т н и к о в Н.И. Ресурсы воздушного транспорта. – Новосибирск: НГАЭиУ, 2003.
26. М и х а й л и к Н.Ф., Л е й ч е н к о С.Д., М а л и ш е в с к и й А.В., П а р к а с Р. Основные причины нарушения нормальной психической деятельности оператора при возникновении особой ситуации./Труды общества независимых расследователей авиационных происшествий. Выпуск 15. – М.: Полиграф, 2003.
27. Г у з и й А.Г., О н у ф р и е н к о В.В. Методология активного управления уровнем безопасности предстоящих полетов в авиакомпании./Труды общества независимых расследователей авиационных происшествий. Выпуск 17. – М.: Полиграф, 2005.
28. П о н о м а р е н к о В.А. Страна Авиация – черное и белое. – М.: Наука, 1995.