

---

УДК 347.822.4

## **Разработка в авиакомпании системы менеджмента рисков в отношении безопасности полетов**

**Макаров В. П.**

*Московский государственный технический университет гражданской авиации,*

*МГТУ ГА, Кронштадтский бульвар, 20, Москва, 125993, Россия*

*e-mail: valmaka@yandex.ru*

### **Аннотация**

Разработка научных методов предупреждения авиационных происшествий является актуальной задачей авиационной отрасли. В настоящей работе рассматривается создание системы менеджмента рисков в отношении безопасности полетов, основанной на прогнозировании вероятности авиационных происшествий в предстоящем полете, выявлении наиболее значимых к конкретным условиям факторов опасности и разработке превентивных мер по предотвращению их проявления в полете.

**Ключевые слова:** риск, безопасность полетов, управление, прогнозирование, предупреждение, авиационное событие

### **Введение**

Статистика авиационных происшествий в гражданской авиации [1] свидетельствует о том, что использование традиционных методов обеспечения безопасности полетов (БП) недостаточно для эффективной деятельности авиакомпаний в условиях обеспечения приемлемого уровня БП.

В 2011 г. в гражданской авиации России произошло 6 катастроф, что составило 21,4% от количества всех катастроф в мире, в результате которых погибло 97 человек, что составило 19,1% от общего количества погибших. Россия по результатам 2011 года стала страной с самым большим количеством катастроф, опередив все африканские страны, вместе взятые.

Анализ современного состояния и проблем развития транспорта в России, изложенный в «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года» [2], выделил среди главных общесистемных проблем развития транспортной отрасли «недостаточный уровень транспортной безопасности». В связи с актуальность указанной проблемы задачи инновационного развития транспортной отрасли содержат «обеспечение безопасности функционирования транспортной системы снижение количества аварий и катастроф».

Экспертами в области мировой гражданской авиации отмечается тот факт, что при устойчивой тенденции снижения относительного показателя количества авиационных происшествий на 1 млн. полетов, прогнозируемый рост объемов воздушных перевозок будет сопровождаться увеличением количества авиационных происшествий. Необходимы дополнительные меры, направленные на предупреждение авиационных происшествий. Таким образом, проблема предупреждения авиационных происшествий актуальна для снижения уровня аварийности и повышения безопасности полетов гражданской авиации.

Задача прогнозирования и предупреждения авиационных событий до настоящего времени полностью не решена.

Одним из прогрессивных инструментов обеспечения БП является система управления рисками, рекомендуемая ИКАО, как основополагающий элемент системы управления безопасностью полетов (СУБП) в авиакомпаниях [3].

В настоящее время разработаны методы оценки потенциального риска уже свершившихся событий, достаточно подробно описанные в монографии [4].

Вопросы прогнозирования рисков авиационных происшествий в отношении безопасности полетов в предстоящем полете и на долгосрочную перспективу в авиакомпаниях в настоящее время не достаточно проработаны.

Следует отметить, что в других отраслях повышенного риска, например, в нефтегазовой или атомной промышленности, уже разработаны подходы и практически применяемые методы прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций.

В настоящей работе рассматривается метод прогнозирования рисков в отношении безопасности полетов и предупреждения авиационных происшествий, разработанный автором в ходе его диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Описанный метод реализован в системе менеджмента рисков в отношении безопасности полетов в авиакомпании «Волга-Днепр», которая в настоящее время совместно с Ульяновским государственным университетом разрабатывает автоматизированную

систему прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок.

### **Менеджмент рисков в отношении безопасности полетов в авиакомпании**

Специалистам по управлению безопасностью полетов авиакомпаний хотелось бы иметь простой и надежный инструмент количественной оценки и прогнозирования риска при выполнении полетов в авиакомпании.

В руководстве по управлению безопасностью полетов [3] описаны три стратегии управления БП:

1. Реактивный (ответный) метод реагирует на уже произошедшие авиационные события.
2. Превентивный метод активно идентифицирует факторы опасности путем анализа деятельности организации.
3. Прогностический (предупреждающий) метод анализирует характеристики системы в ее предстоящей производственной деятельности.

Первый, традиционный, метод основан на расследовании инцидентов, происшествий, соответствии нормам и ориентирован на результат. При этом авиационно-транспортная система (АТС), как предполагается, в большинстве случаев работает по ее расчетным характеристикам.

Два последних основаны на характеристиках и ориентированы на процесс. Предполагается, АТС не работает в большинстве случаев по ее расчетным характеристикам, имеют место отклонения: допустимые и опасные.

Примером практического применения прогностического метода в условиях авиакомпании является анализ полетной информации по результатам расшифровки средств объективного контроля, позволяющий выполнять мониторинг деятельности экипажа, работоспособности систем воздушного судна (ВС). Данный мониторинг направлен на выявление отклонений в технике пилотирования летного состава, сбоев в функционировании систем ВС, являющихся факторами опасности и потенциальными причинами авиационных событий. Оперативное принятие мер по устранению выявленных недостатков обеспечивает предотвращение в будущем событий, негативно влияющих на БП.

Одним из инструментов прогнозирования событий в СУБП является анализ тенденций. Возникающие негативные тенденции (отклонения) в деятельности авиакомпании могут указывать на зарождающиеся факторы опасности. Следует определить верхние и нижние пределы приемлемости характеристик (допустимые и опасные отклонения)

сравнивать с ними текущие показатели. Анализ тенденций можно также использовать для выдачи "аварийного предупреждения", если характеристики близки к выходу за приемлемые пределы.

В анализе сложных технических систем в качестве инструмента менеджмента рисков применяются разные статистические методы, описанные в учебнике [5].

### **Метод предупреждения авиационных происшествий в авиакомпании на основе менеджмента рисков**

Под риском понимается вероятность возникновения определенного типа авиационных происшествий в полете.

Разработанный метод предупреждения авиационных происшествий, включает в себя последовательное решение трех задач:

- прогнозирование в предстоящем полете вероятности авиационного происшествия;
- выявление наиболее значимых в предстоящем полете факторов опасности;
- разработка превентивных мероприятий по предупреждению проявления выявленных факторов опасности или парированию их негативного воздействия, что позволяет предупреждать авиационные происшествия в предстоящем полете.

Под факторами опасности понимаются ошибки экипажа, отказы авиационной техники, опасные воздействия внешней среды, существенно влияющие на безопасность полетов.

Прогнозирование вероятности и выявление факторов опасности основывается на методе построения и анализа «дерева» факторов опасности (далее по тексту «дерево»).

«Дерево» факторов опасности – это логическая схема, отражающая возможные пути развития факторов опасности и их комбинаций через промежуточные события и барьеры безопасности в авиационное происшествие определенного типа.

Визуально «дерево» представляет собой графическую модель причинно-следственных связей событий, вершиной которой является прогнозируемое авиационное происшествие, а основанием – факторы опасности, инициирующие или сопутствующие развитию авиационного происшествия определенного типа.

Тип авиационных происшествий – непосредственно наблюдаемые обстоятельства особой ситуации с воздушным судном на земле или в воздухе, например: выкатывание за пределы взлетно-посадочной полосы, потеря управляемости в полете и другие типы событий [6].

Каждый тип авиационных происшествий характеризуется специфическими сценариями развития событий, а также соответствующими причинами и последствиями.

На рис. 1 представлена адаптированная схема развития авиационных происшествий европейской рабочей группой ARMS (Airline Risk Management Solutions), занимающейся вопросом управления рисков в авиакомпаниях [7]. Представленная схема была использована в качестве структуры «дерева».

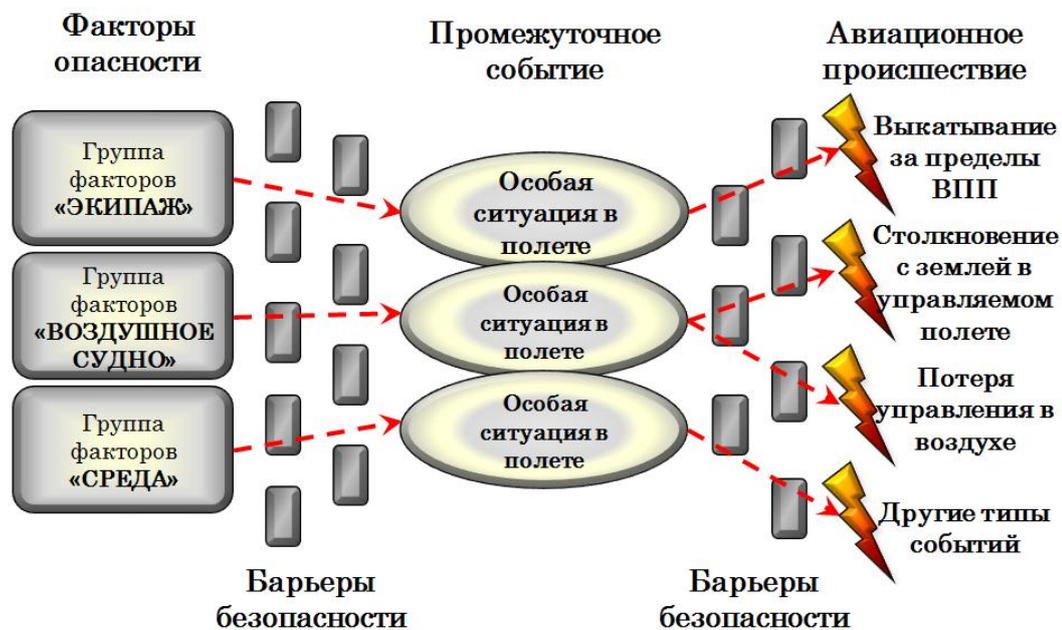


Рис.1. Схема развития авиационных происшествий

Возможны тысячи различных сценариев развития аварий и катастроф, и смоделировать каждый из них, изучив даже всю мировую статистику происшествий, невозможно, так как остаются еще нереализованные сценарии.

Построение «дерева» необходимо, чтобы описать наиболее типичные и выявить кратчайшие сценарии развития авиационных происшествий, которые представляют наибольшую угрозу для безопасности полетов. При этом определяются факторы опасности, инициирующих или сопутствующих развитию авиационному происшествию и барьеров безопасности. Барьеры безопасности подразделяются на барьеры предотвращения и парирования. Барьеры предотвращения предназначены для того, чтобы не допустить проявлений факторов опасности в полете (т.е. предотвратить промежуточное событие), а барьеры парирования – для того, чтобы не допустить развитие проявлений факторов опасности до авиационного происшествия (то есть парировать промежуточные события).

Традиционно метод «дерево» применяется в авиационной отрасли при решении таких задач, как:

- подтверждение соответствия технических систем воздушного судна

сертификационным требованиям отказобезопасности,

- описание причинно-следственных связей свершившихся авиационных событий в процессе их расследования.

В качестве методического инструмента для регулярного прогнозирования и предупреждения авиационных происшествий в авиакомпаниях метод «дерево» ранее не применялся.

При традиционном подходе в качестве предмета исследования рассматривалось ограниченное количество факторов опасности, связанных с конкретным свершившимся авиационным событием. Разработанный метод ориентирован на анализ всех факторов, потенциально способных повлиять на безопасность полетов.

Разработка «дерева» основывается на комбинированной FMEA-FTA методологии анализа технических систем [8]. Это инновационная комбинация двух традиционных и широко используемых методов анализа надежности: «Анализ видов и последствий потенциальных отказов» (FMEA) и «Анализ дерева неисправностей» (FTA). FMEA применяется для анализа последствий единичных видов отказов, исследование построено по индуктивному принципу «снизу – вверх», результаты анализа представлены, как правило, в форме таблиц. Метод FTA позволяет исследовать комбинации отказов, построен по принципу «сверху – вниз», и визуально представляется как логическая диаграмма.

При разработке «дерева» анализируется информация из различных источников:

- материалов расследований авиационных событий, в которых изложены причинно-следственные связи авиационных происшествий и инцидентов;
- руководств, инструкций и положений авиакомпании, связанных с выполнением и обеспечением безопасности полетов, в которых описаны действия экипажа в особых ситуациях, особенности функционирования систем самолетов;
- статистических и аналитических исследований в области безопасности полетов.

Важной задачей при разработке «дерева» является представление основания дерева – базовых событий, в виде, позволяющем оценить вероятность их проявления в полете.

В целях апробации метода было разработано «дерево» одного из возможных сценариев выкатывания самолета за пределы взлетно-посадочной полосы при посадке.

На основании многолетней мировой статистики авиационных происшествий международными организациями в области гражданской авиации выкатывание самолета за пределы взлетно-посадочной полосы (ВПП) признано одной из наиболее актуальных проблем для безопасности полетов [9].

В рамках научно-исследовательской работе по изучению случаев выкатывания самолетов за пределы ВПП, выполненной в 2012 году Государственным центром безопасности полетов на воздушном транспорте, автором проанализированы причины выкатывания самолетов гражданской авиации России за период 2007–2011 гг. Установлено, что основной или сопутствующей причиной почти половины событий явилась посадка со значительным перелетом расчетной зоны приземления вследствие превышения рекомендуемых значений параметров полета – скорости и высоты (рис. 2).



Рис. 2. Результаты анализа причины выкатывания самолетов за пределы ВПП

Описанный сценарий выкатывания за пределы ВПП изображен на рис. 3 в виде «дерева». Базовые события «дерева» – проявления факторов опасности в полете, обозначены серыми кружочками. Использование максимального реверса двигателей до полной остановки самолета и уход на второй круг при нестабилизированном заходе на посадку представляют барьеры безопасности, которые могут предотвратить авиационное происшествие.

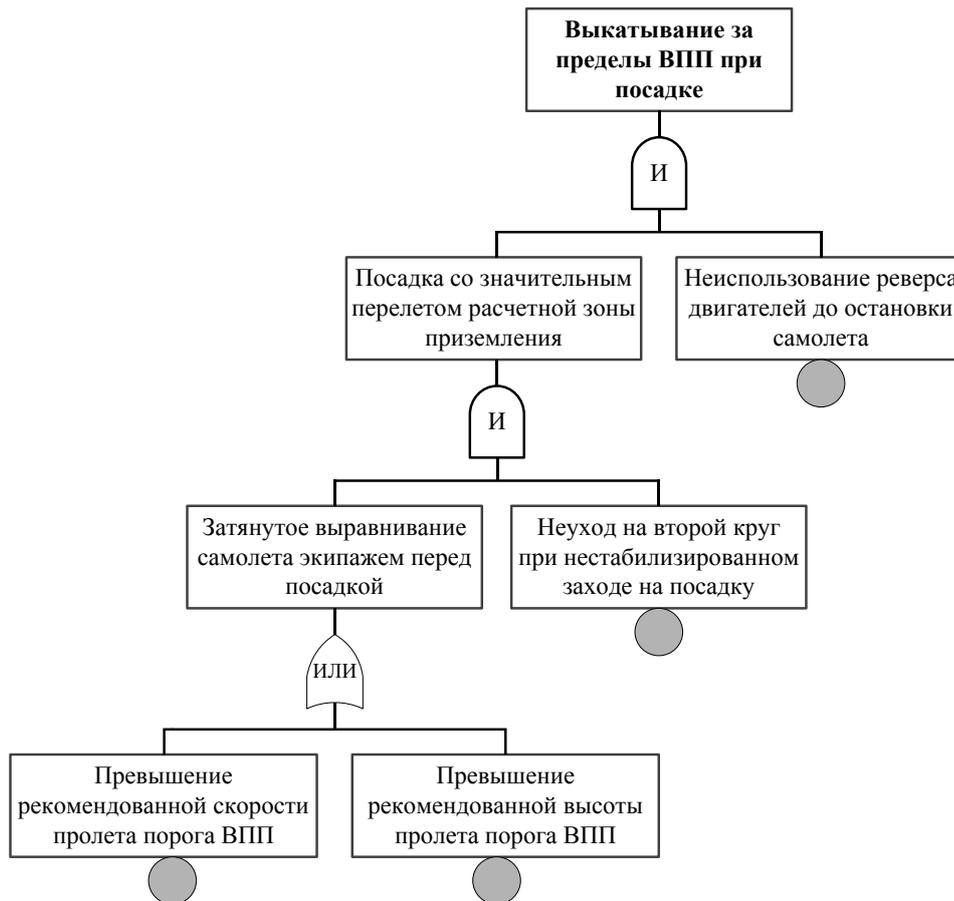


Рис. 3. «Дерево» одного из сценариев выкатывания самолета за пределы ВПП

Для описания математической модели прогнозирования вероятности авиационного происшествия каждому событию «дерева» было присвоено цифробуквенное обозначение (рис. 4):

- $A_0$  – выкатывание за пределы ВПП при посадке;
- $A_{01}$  – посадка со значительным перелетом расчетной зоны приземления;
- $A_{02}$  – неиспользование реверса двигателей до остановки самолета;
- $A_{011}$  – затянутое выравнивание самолета перед посадкой;
- $A_{012}$  – неуход на второй круг при нестабилизированном заходе на посадку;
- $A_{0111}$  – превышение рекомендованной скорости пролета порога ВПП;
- $A_{0112}$  – превышение рекомендованной высоты пролета порога ВПП.

Дополнительно были введены коэффициенты  $k$  – условные вероятности реализации причинно-следственных связей «дерева», отражающие неопределенность и случайность развития особой ситуации в полете.

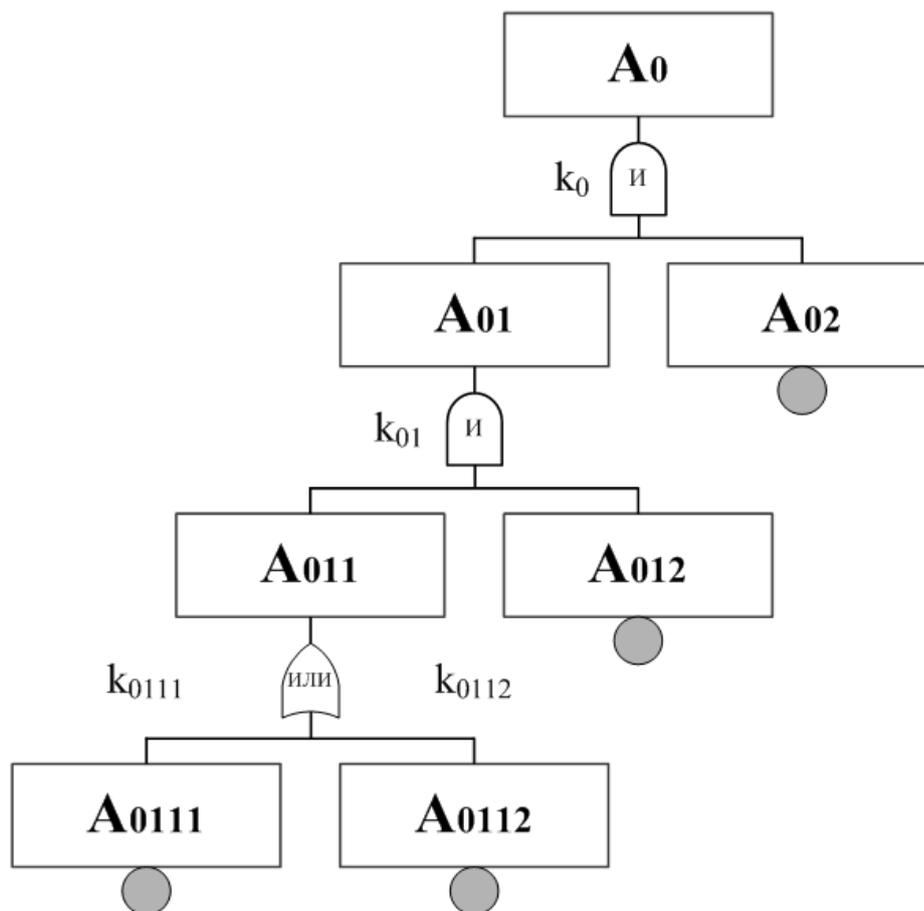


Рис. 4. Обозначения событий и коэффициентов в «дереве»

«Дерево», представленное на рис.3, с учетом введенных обозначений (рис. 4) в работе было описано уравнениями вида:

$$P(A_0) = k_0 \cdot [k_{01} \cdot P(A_{011}) \cdot P(A_{012})] \cdot P(A_{02}), \quad (1)$$

$$P(A_{011}) = 1 - k_{0111} \cdot [1 - P(A_{0111})] \cdot k_{0112} \cdot [1 - P(A_{0112})]. \quad (2)$$

Значения коэффициентов  $k$  могут быть рассчитаны по статистике реальных полетов в конкретной авиакомпании ( $k_{0111}$ ;  $k_{0112}$ ;  $k_{01}$ ); по статистике авиационных событий ( $k_0$ ) или с использованием экспертных оценок, когда другие методы недоступны.

Вероятности превышения рекомендованных руководством по летной эксплуатации самолета значений скорости  $P(A_{0111})$  и высоты  $P(A_{0112})$  пролета порога ВПП могут быть оценены по результатам анализа полетной информации.

Отклонения фактического значения скорости (высоты) полета над порогом ВПП от нормативного значения этой величины в каждом исследуемом полете рассчитывается по формулам:

$$\Delta V = V_{\text{Факт}} - V_{\text{Норм}}, \quad \Delta H = H_{\text{Факт}} - H_{\text{Норм}}.$$

На рис. 5 приведена гистограмма отклонений  $\Delta V$ , характеризующая одного из пилотов авиакомпании «Волга-Днепр». Статистические критерии подтверждают гипотезу о нормальном распределении отклонений  $\Delta V$  рассматриваемого пилота.

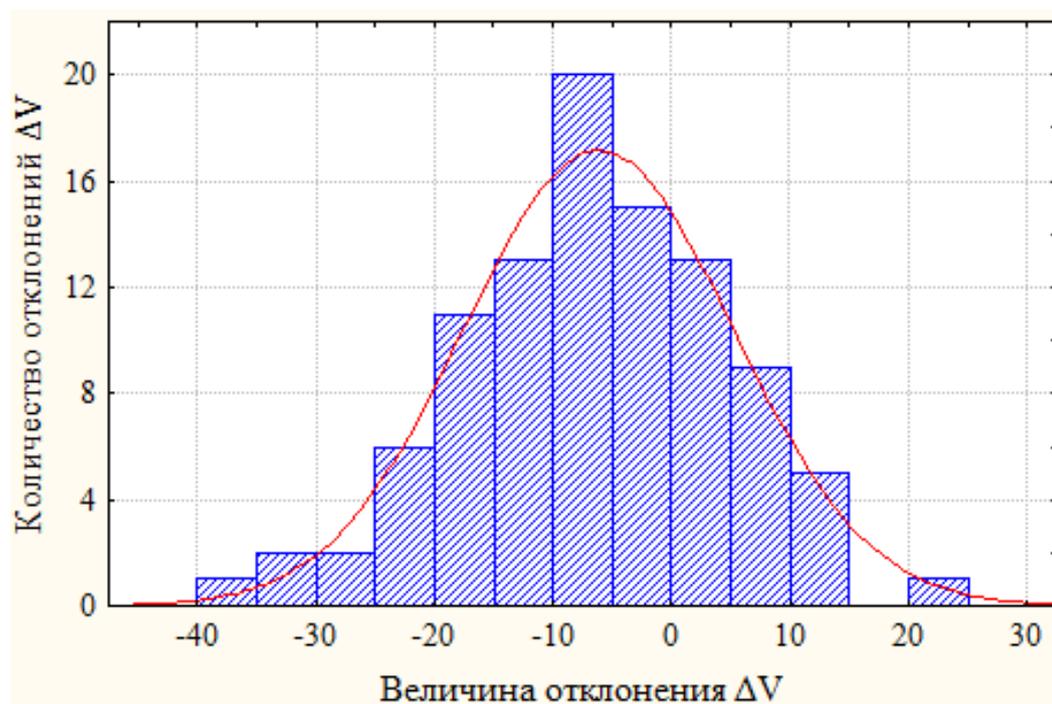


Рис. 5. Гистограмма  $\Delta V$  и кривая плотности нормального распределения

Непринятие экипажем решения об уходе на второй круг при нестабилизированном заходе на посадку и неиспользование максимального реверса двигателей до полной остановки ВС при угрозе выкатывания за пределы ВПП также могут быть рассчитаны по полетной информации через отношение количества полетов, в которых возникала соответствующая особая ситуация (нестабильный заход на посадку или посадка со значительным перелетом зоны приземления) и экипаж не выполнял предписанные в таких ситуациях действия, к общему количеству полетов с соответствующими особыми ситуациями.

По данным группы экспертов ИКАО, изучающей методы сокращения летных происшествий при заходе на посадку и посадке, только в 17% нестабилизированных заходов на посадку экипаж своевременно ушел на второй круг [10]. Тогда среднее по отрасли значение вероятности не ухода на второй круг может быть принято равным 0,87.

Нестабильный заход на посадку характеризуется определенными признаками, которые позволяют оценить каждую посадку пилота. Программы подготовки летного персонала по типам самолетов содержатся нормативы о допустимых отклонениях от зоны

приземления, на основании которых с учетом длины ВПП возможно оценивать возникновение угрозы выкатывания в конкретных полетах.

При критическом значении в  $I$ -м полете вероятности выкатывания  $[P_1(A_0) > P_{\text{крит}}(A_0)]$  по причинно-следственным связям «дерева» выявляются наиболее значимые в предстоящем полете факторы опасности, которые вносят наибольший вклад в значение  $P_1(A_0)$ . Разрабатываются мероприятия по предупреждению проявления выявленных факторов опасности или парированию их негативного воздействия на безопасность полетов. Тем самым становится возможным предупредить выкатывание самолета за пределы ВПП при посадке.

Моделирование событий с применением «дерева» не предназначено для получения точной математической модели авиационного происшествия, что не решено до настоящего времени. Разработанный метод предназначен для оценки уязвимости системы «Экипаж – Воздушное судно – Среда», которая позволяет выявить повышенную в сравнении с предыдущими безопасными посадками вероятность выкатывания самолета в предстоящем полете.

Схема управления рисками с использованием приведенной методики представлена на рис.б.

Например, в случае выявления по вышеописанному методу первоочередной значимости фактора «Посадка на повышенной скорости», конкретному экипажу перед предстоящим полетом может быть дополнительно рекомендовано:

1. Командиру воздушного судна и второму пилоту внимательнее контролировать и выдерживать скоростные параметры при снижении и заходе на посадку. Цель рекомендации – предотвратить превышение рекомендуемой скорости полета на посадке.
2. При не выдерживании скоростных параметров на посадке непременно уйти на второй круг. Цель рекомендации – парировать повышенную скорость полета и предотвратить посадку на повышенной скорости.
3. При посадке на повышенной скорости в обязательном порядке использовать максимальный реверс двигателей до полной остановки воздушного судна. Цель рекомендации – парировать повышенную скорость посадки и предотвратить выкатывание за пределы ВПП.

Такие рекомендации следует выдавать пилотам, которые по результатам анализа их техники пилотирования с использованием выше описанной методики, склонны к ошибкам и нарушениям действующих инструкций (правил выполнения полетов).

При всей очевидности приведенных рекомендаций, расследования авиационных событий свидетельствуют о том, что пилоты не всегда выполняют предписанные им правила выполнения полетов и процедуры парирования особых ситуаций в полете.

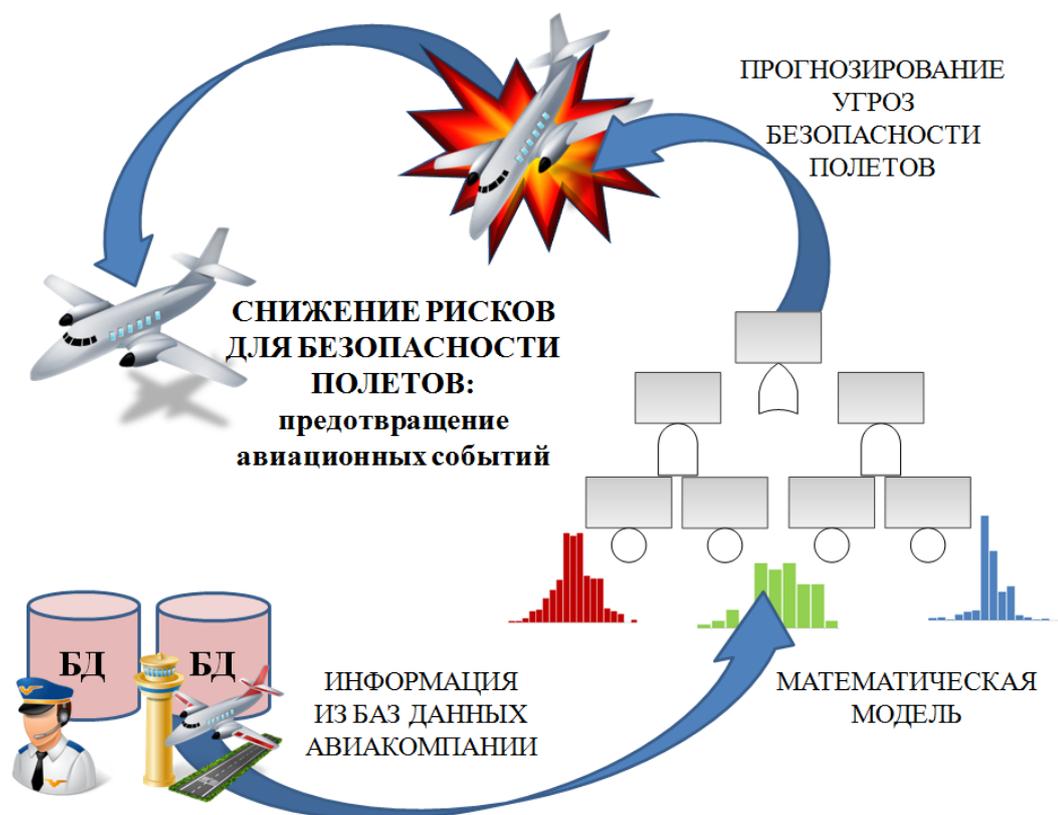


Рис. 6 Управление рисками для безопасности полетов

### **Автоматизированная система прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий**

Разработанный метод менеджмента рисков в отношении безопасности полетов был внедрен в эксплуатационном предприятии при реализации на основании Постановления Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 г. [10] авиакомпанией «Волга-Днепр» совместно с Ульяновским государственным университетом комплексном проекте «Разработка автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок».

Проект направлен на решение проблемы сокращения числа авиационных инцидентов и происшествий.

Целью проекта является повышение безопасности воздушных перевозок в коммерческих авиакомпаниях за счет перехода к превентивной системе управления рисками

на основе их количественной комплексной оценки с использованием программных средств и математического моделирования.

Разрабатываемая автоматизированная система направлена на решение следующих основных задач менеджмента рисков:

1. Оперативный прогноз вероятности авиационных событий в предстоящем полете с указанием влияющих факторов опасности и возможностью корректировки прогноза с учетом предлагаемых вариантов управленческих решений.

2. Долгосрочный прогноз периодов критической вероятности авиационных происшествий с указанием влияющих факторов опасности и возможностью корректировки прогноза с учетом предлагаемых вариантов управленческих решений.

3. Количественная оценка системных рисков для безопасности на основе анализа информации об эксплуатационной деятельности авиакомпании и формирование вариантов корректирующих и предупреждающих действий с оценкой их эффективности на основе расчета предотвращенного ущерба.

4. Мониторинг принятых в авиакомпании показателей уровня безопасности полетов с обеспечением автоматизированной процедуры расчета текущих и директивных уровней.

Оперативное прогнозирование авиационных событий осуществляется с использованием приведенной в настоящей работе методики.

Количественная оценка рисков для безопасности полетов в стоимостной и натуральной форме проводится на основе анализа информации об эксплуатационной деятельности авиакомпании. Риск в стоимостном выражении на первом этапе развития системы оценивается стоимостью среднего ожидаемого ущерба в денежном эквиваленте, рассчитанном на 1 час полета. Риск в натуральном выражении – это вероятность гибели человека (нанесение непоправимого вреда здоровью), а также безвозвратная потеря уникального самолета Ан-124-100, эксплуатирующегося в авиакомпании «Волга-Днепр», в результате авиационного происшествия, приведенная на 1 час полета. На следующих этапах выполнения проекта предполагается рассмотреть использование квантилей функции распределения случайного ущерба, а также моделей оценки, анализа и управления рисками на основе теории нечетких множеств и статистики интервальных данных [11].

## **Заключение**

Проведенный анализ показал, что превентивный подход к расчету потенциальных рисков авиационных происшествий, основанный на моделировании развития типов

авиационных событий, применим для решения задач менеджмента рисков в отношении безопасности полетов.

Разработан метод предупреждения авиационных происшествий на основе «дерева» факторов опасности, который позволяет до начала полета оценить вероятность выкатывания самолета за пределы ВПП и выявить наиболее значимые факторы в конкретных условиях (назначенные на полет экипаж и воздушное судно, аэродром посадки и ожидаемые метеосостояния). Реализованный в виде программного продукта метод «дерева» может использоваться в авиакомпаниях, как инструмент регулярной оценки рисков в сфере безопасности полетов.

Разработанный метод прогнозирования вероятности опасных отклонений параметров полета повышает готовность экипажа к парированию особых ситуаций в полете, а также позволяет выявить тех пилотов, для которых целесообразно проведение дополнительного повышения квалификации.

На основании проведенных исследований разработано программное обеспечение модуля оперативного прогнозирования для автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий в авиакомпании «Волга-Днепр». Разработанный метод успешно апробирован для прогнозирования и предупреждения ряда других типов авиационных происшествий: столкновение самолета с землей в управляемом полете, потеря управления в полете и другие.

### **Библиографический список**

1. Потери мировой авиации за 2011 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.aviasafety.ru/> (Дата обращения: 03.04.12).
2. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р. URL: [http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT\\_ID=13008](http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008) (дата обращения 21.09.12).
3. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП), Дос 9859-AN/460. Второе издание – ИКАО, 2009г.
4. Зубков Б. В., Шаров В. Д. Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов. – М.: МГТУ ГА, 2010.- 196с.

5. Александровская Л. Н. и др. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник/Л. Н.; – М.: Логос, 2001. – 231с.
6. Руководство по информационному обеспечению автоматизированной системы обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации Российской Федерации (АСОБП). – М.: «Аэронавигационное консалтинговое агентство», 2002г.
7. Nisula J. Operational Risk Assessment. Next Generation Methodology, 2009, URL: <http://www.easa.europa.eu/essi/documents/ARMS.pdf> (дата обращения 21.05.10).
8. Шаров В.Д., Макаров В.П. Методология применения комбинированного метода FMEA-FTA для анализа риска авиационного события // Научный вестник МГТУ ГА, - № 174, -2011, - С. 19-25.
9. A Coordinated, Risk-based Approach to Improving Global Aviation Safety / 2011 State of Global Aviation Safety. ICAO- Montreal, Quebec, Canada. 2011. 80 p.
10. О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства // Пост. Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218.
11. Орлов А.И., Рухлинский В.М., Шаров В.Д. Экономическая оценка рисков при управлении безопасностью полетов // Материалы I Международной конференции «Стратегическое управление и контроллинг в некоммерческих и публичных организациях: фонды, университеты, муниципалитеты, ассоциации и партнерства»: выпуск №1. – М.: НП «ОК», 2011. – С. 108-114.