

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
МНОГОКОНТУРНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ  
БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ПО ЭТАПАМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА  
ТИПА ВОЗДУШНОГО СУДНА**

д. т. н, проф. *А. Г. Гузий*  
(ВВИА им. Н.Е. Жуковского, ООО «Волга-Днепр-Москва»),  
к. т. н. *С. М. Гладкин* (ВВИА им. Н.Е. Жуковского),  
к. т. н. *В. М. Рухлинский* (Межгосударственный авиационный комитет)

*Предлагается методологический подход к решению проблемы безопасности полетов (БП) через управление ее уровнем на каждом этапе жизненного цикла авиационной системы: проектирование, производство, эксплуатация. Предполагается переход от «ретроактивной» к «проактивной» стратегии управления уровнем БП. Минимизация случайной составляющей уровня БП обеспечивается активизацией теоретических исследований с целью априорного определения главных, промежуточных и непосредственных причин авиационных происшествий.*

В силу актуальности и сложности решения проблемы безопасности полетов (БП), тяжести последствий периодически имеющих место авиационных происшествий (АП), и вопреки наблюдающейся некоторой стабилизации уровня БП, к словосочетанию «предотвращение авиационных происшествий» (ПАП), а тем более к концепции ПАП, отношение, мягко говоря, неоднозначное, если не сказать скептическое. И на такое отношение должны быть не только субъективные, но и объективные причины, вскрытие которых – обязанность специалистов в области БП.

АП следует рассматривать как объективную реальность, признаваемую как материалистами, так и идеалистами. Все согласны с тем, что абсолютной безопасности не бывает. Исторически сформировалось убеждение, что любой летательный аппарат – объект повышенной аварийности (риска). Не бывает 100%-ой надежности в технике, как не бывает идеальных условий жизнедеятельности для человека. Ничто не вечно под Луной, никто не бессмертен. И человек порой уходит в мир иной, находясь, казалось бы, в

самой благоприятной среде, при обстоятельствах, не представляющих какую-либо опасность. Инфаркт находит свою жертву даже в безмятежном сне, являя естественную смерть человека. А кто и где защищен от смерти насильственной?

Вполне уместен вопрос дилетанта: не направлена ли концепция ПАП на предотвращение неотвратимого?

Для ответа на такой вопрос необходимо оценить АП с позиции профессионалов, а именно, с позиции расследователей АП. Накопленный горький опыт расследований показывает, что в абсолютном большинстве случаев причинность АП имеет под собой реальную, т.е. закономерную, основу (базу): объективную или субъективную, когда преобладает «человеческий фактор» (ЧФ). Лишь иногда, в условиях дефицита исходной информации или знаний, делаются попытки объяснить причину АП как случайное маловероятное стечение череды неблагоприятных ситуаций, или как действие потусторонних сил [1, 2]. Однако, по мере накопления знаний, доля подобного рода умозаключений заметно снижается.

Таким образом, оценивая уровень БП, можно сделать заключение о существовании детерминантной, т.е. закономерной, и случайной составляющих уровня БП, причем в процессе познания естественных явлений соотношение этих составляющих изменяется в пользу детерминантной. Поэтому, по-материалистически допуская бесконечность и беспредельность процесса познания мира и самой авиационной науки, следует признать: если, в силу закономерности появления АП (как событий), познаваемы причины их детерминантной части, то, по крайней мере, эту часть АП можно и должно предотвращать, и тем более исключать их повторение.

Разработка, своевременное дополнение (коррекция) и выполнение требований нормативно-регламентирующих документов и рекомендаций, вырабатываемых из опыта эксплуатации, по результатам проводимых испытаний, исследований, расследований АП и инцидентов – необходимые, хоть и недостаточные условия для эффективного предотвращения АП

(достаточными они являются только для предотвращения повторения АП по заблаговременно достоверно установленным причинам). Некоторое упреждение в процессе управления уровнем БП дает переход к управлению не по АП, а по инцидентам. Условия и методы управления детерминантной составляющей уровня БП известны, общедоступны и с переменным успехом используются во всех видах отечественной и зарубежной авиации. Более того, стабилизация достигнутого уровня БП в последние годы дает основание согласиться с предположением о том, что описанный метод управления, называемый пассивным, уже исчерпал свой практический потенциал, достиг предельного уровня эффективности. Признавая реальность (но не всегда закономерность) повторяемости АП, приходится соглашаться с утверждением о том, что часть из них относятся к случайным, а часть - свидетельствуют о неустраненной детерминантной составляющей. Исключению этой неустраненной составляющей способствует разработанный и внедренный в авиакомпанию «Волга-Днепр» предупредительный метод управления БП не на уровне АП и инцидентов, а на уровне инцидентов и их предвестников (с предварительным отбором и обоснованием номенклатуры авиационных событий, именуемых предвестниками инцидентов). Реализован переход от принципа «предотвращать АП, сокращая инциденты» к принципу «предотвращать инциденты, сокращая предвестники» [3]. Однако и предупредительным методом управления элемент случайности не устраняется.

Как быть со случайной составляющей уровня БП?

Учитывая, что случайность – это непознанная закономерность, ответ на основной вопрос один: познавать! Интенсивно познавать, используя накопленные знания во всех областях авиационной науки по компонентам «Воздушное судно», «Экипаж», «Среда» и их совокупности [4, 5]. Выявлять потенциальные отдельные и сочетанные условия и причинно-следственные связи возникновения, развития и протекания АП, инцидентов и их предвестников. Успех такого рода исследований не вызывал бы сомнений,

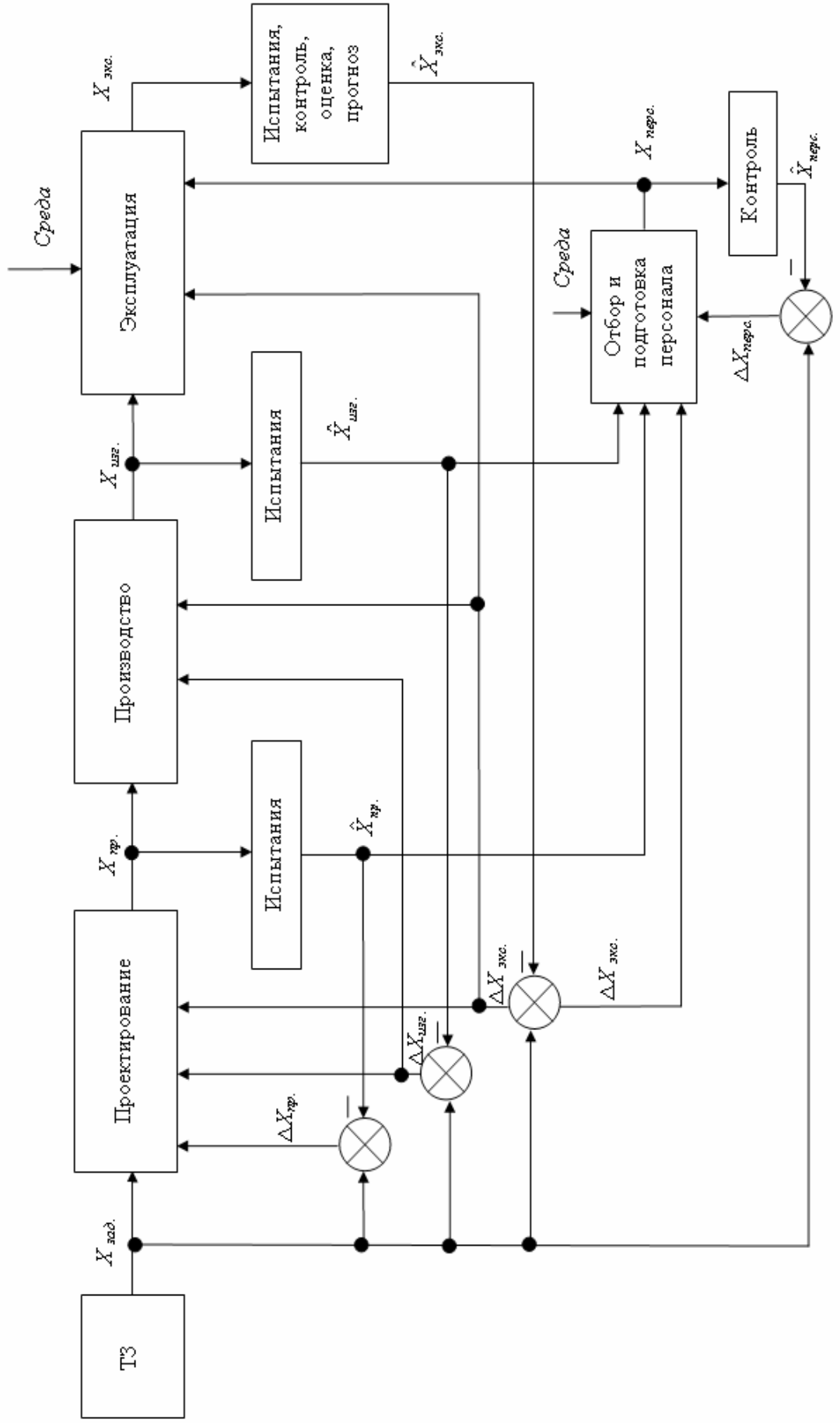
если проводить их до того, когда АП произошло, но на практике процесс познания особо активизируется на этапе расследования уже происшедших АП, т.е. в силу возникшей необходимости, когда от основных объектов, а иногда, как ни прискорбно, и от субъектов исследования, остается лишь их некоторая часть, неизменно гарантирующая расследователям дефицит информации. Именно на этом этапе начинается наука, с переходом, как ни парадоксально, от практики к теории, а не наоборот. Следует признать, что наиболее распространенный метод познания в области БП (как науки) имеет самый низший уровень, это самый доступный и самый дорогой метод проб и ошибок. А могло ли быть иначе в одном из самых молодых научных направлений? Как давно начали количественно оценивать БП, т.е. измерять? Ведь наука, по утверждению Д. И. Менделеева, начинается тогда, когда начинают измерять. Что следует считать началом науки «БП»? Мнений может быть много, но, несмотря на то, что со времени первой в мире авиакатастрофы с гибелью человека, находящегося на борту самолета, прошло около 100 лет, самые «старшие» кафедры БП даже в самых престижных авиационных ВУЗах России насчитывают не более 40 лет своей истории.

Для решения проблемы исключения случайной составляющей уровня БП напрашивается необходимость активизации теоретических исследований с целью определения главных, промежуточных и непосредственных причин АП [6] (включая потенциальные и из разряда маловероятных, даже практически невероятных), установления наличия или отсутствия способствующих и препятствующих факторов (с оценкой их значимости), распространенности причин и факторов на эксплуатируемые ВС. При этом исследовать возможности практического использования основных положений системного, структурного, корреляционного и экспертного анализа, теории вероятностей и математической статистики, случайных процессов, надежности, измерений, больших систем, нечетких множеств, нечеткой и

парадоксальной (неаристотелевой) логики, причинности, принятия решений, управления, диагностики, кибернетики, искусственного интеллекта и др.

В основу управления уровнем БП может быть положена схема поэтапного многоконтурного управления надежностью функционирования человеко-машинных систем [7]. Представленная на рис. схема предусматривает:

## Управление уровнем БП



- три этапа жизненного цикла авиационной системы (проектирование  
производс  
– отбор и подготовку персонала с соответствующим контролем его профессионального уровня на этапе эксплуатации ВС.

Под персоналом здесь и далее понимается как летный, так и наземный состав, задействованный в подготовке, выполнении и обеспечении полетов.

Управляющая характеристика уровня БП обозначена через  $x$ , а ее входные и выходные значения соответственно  $x_{вх}$ ,  $x_{вых}$ . Упорядоченные множества входных ( $x_{вх1}, x_{вх2}, \dots, x_{вхN}$ ) и выходных ( $x_{вых1}, x_{вых2}, \dots, x_{выхM}$ ) величин представлены векторами  $X_{вх}$ ,  $X_{вых}$  размером  $N$  и  $M$  соответственно. Применительно к ВС заданный уровень БП, аналогично технической надежности, должен закладываться на этапе проектирования [8], обеспечиваться на этапе изготовления и поддерживаться на этапе эксплуатации.

В техническом задании (ТЗ) на разработку ВС определяется входной для этапа проектирования вектор заданных характеристик  $X_{зад}$ . Выходной вектор этапа проектирования – вектор  $X_{пр}$  – на этапе изготовления является входным. Выходным на этапе изготовления является вектор  $X_{изг}$ , который одновременно служит входным для этапа эксплуатации. Выходной вектор на этапе эксплуатации – вектор  $X_{экс}$ .

Для оценки качества обеспечения требуемого уровня БП на каждом из этапов проводятся испытания (контроль, оценка, прогноз).

Первая разновидность испытаний включает экспериментально-исследовательские работы на макетах, лабораторных образцах и математических моделях отдельных компонентов, систем, и ВС в целом. При выполнении испытаний предполагается уточнение ТЗ на проектирование, проверка и демонстрация новых конструктивных решений, выполнение альтернативных вариантов, предварительное определение характеристик изделия, выявление возможных конструктивных дефектов, корректировка

документации, принятие принципиальных решений по дальнейшим этапам, отработка опытного образца, уточнение его характеристик.

Результатом испытаний первого типа является оценка вектора  $\hat{X}_{np}$ . Сравнение ее с заданным значением обеспечивается первой цепью обратной связи, причем  $\Delta X_{np} = X_{зад} - \hat{X}_{np}$ . Если  $\Delta X_{np} \neq 0$ , то обратная связь замыкается на все подэтапы проектирования и, в крайнем случае, может быть выполнена корректировка ТЗ. Разработчиками принимаются соответствующие меры для того, чтобы добиться выполнения соотношения  $\Delta X_{np} = 0$ . При этом оценивается текущее (фактическое) и прогнозируемое состояние изделия.

Основные задачи испытаний второго типа: проверка качества производства и соответствия изделия ТЗ; проверка эффективности проведенных доработок, направленных на устранение недостатков; определение функциональных возможностей изделия; оценка живучести и отказобезопасности.

По результатам испытаний корректируется техническая документация и принимается решение о возможности передачи объекта на следующий этап жизненного цикла. Результаты испытаний второго типа позволяют оценить вектор  $X_{изг}$ . Сравнение его с вектором заданных значений  $X_{зад}$  позволяет определить погрешность  $\Delta X_{изг} = X_{зад} - \hat{X}_{изг}$ . Сведение ее к нулю достигается обоюдными усилиями разработчика и изготовителя.

На этапе эксплуатации проводятся испытания, основными задачами которых являются: накопление информации, используемой для оценки фактического и прогнозируемого состояний ВС; определение фактического уровня БП и его прогнозирование; выработка рекомендаций по объему и срокам проведения технического обслуживания и ремонта; формирование рекомендаций на этап проектирования, производства и эксплуатации.

Результаты эксплуатационно-технического контроля, расследования АП и инцидентов используются для дальнейшего совершенствования ВС, внесения необходимых схемных и конструктивных изменений, оптимизации



системы эксплуатации, уточнения нормативно-технической документации и для других мероприятий по управлению уровнем БП. Начиная с этого этапа целесообразно оценивать эффективность проводимых мероприятий [9].

В результате проведения испытаний третьего типа оценивается вектор  $X_{экс}$ . В третьей цепи обратной связи определяется  $\Delta X_{экс} = X_{зад} - \hat{X}_{экс}$ . Управляющее воздействие  $\Delta X_{экс}$  задается для этапов проектирования, изготовления и эксплуатации. На этапе эксплуатации принимаются меры по обеспечению заданного уровня БП, в том числе по доработке ненадежных узлов, разрабатывается система профилактических мероприятий по предотвращению АП.

На этапах проектирования и производства ВС, отбора и подготовки персонала закладывается составляющая уровня БП, именуемая «Человеческий фактор». Ее заданный уровень обеспечивается и поддерживается на этапе эксплуатации. При этом решается ряд задач, в том числе [10]:

- недопущение, устранение, минимизация или максимальная нейтрализация отрицательного воздействия на персонал отрицательных факторов и условий жизнедеятельности;
- прогнозирование экстремальных условий жизнедеятельности и наиболее неблагоприятных факторов полета;
- периодический и текущий контроль и оценка показателей функциональной надежности персонала, диагностика и прогноз неблагоприятных функциональных состояний членов экипажа и экипажа в целом;
- выработка и оценка эффективности воздействий и мероприятий по нормализации (коррекции), предупреждению и предотвращению снижения функциональной надежности персонала, в том числе членов экипажа и экипажа в целом.

В силу важности ЧФ в решении проблемы БП, отбор и подготовка (переподготовка) персонала проводится с соответствующим контролем и

оценкой соответствия уровня его профессиональной надежности предъявляемым требованиям БП. В процессе подготовки персонала учитываются поэтапно выявляемые несоответствия  $\Delta X_{np}$ ,  $\Delta X_{изг}$ ,  $\Delta X_{экс}$  - с целью их минимизации или устранения (обнуления). Вектор  $X_{перс}$  - реальная характеристика профессиональной надежности персонала. Получаемая по результатам тестирования и контроля оценка вектора  $X_{перс}$  проверяется на соответствие задаваемым требованиям, а несоответствие ( $\Delta X_{перс} = X_{зад} - \hat{X}_{перс}$ ) устраняется в процессе формирования и совершенствования профессионального уровня и профессионально важных качеств персонала, в первую очередь летного.

Необходимо отметить, что на каждом этапе жизненного цикла авиационной системы по результатам испытаний, контроля и оценки вырабатываются управляющие воздействия по устранению несоответствий между вектором заданных характеристик ( $X_{зад}$ ) и **оценками** векторов характеристик, получаемых при проектировании, изготовлении, эксплуатации технических средств, отбора и подготовки персонала (соответственно  $\hat{X}_{пр}$ ,  $\hat{X}_{изг}$ ,  $\hat{X}_{экс}$ ,  $\hat{X}_{перс}$ ), но не самими векторами  $X_{np}$ ,  $X_{изг}$ ,  $X_{экс}$ ,  $X_{перс}$ . Если погрешности  $\Delta X_{np}$ ,  $\Delta X_{изг}$ ,  $\Delta X_{экс}$ ,  $\Delta X_{перс}$  могут быть отнесены к систематическим, а, следовательно, они устраняемы, то погрешности, отражающие несоответствия векторов  $X_{np}$ ,  $X_{изг}$ ,  $X_{экс}$ ,  $X_{перс}$  и векторов их оценок  $\hat{X}_{пр}$ ,  $\hat{X}_{изг}$ ,  $\hat{X}_{экс}$ ,  $\hat{X}_{перс}$ , представляемые в виде соотношений  $\Delta X_1 = X_{np} - \hat{X}_{пр}$ ;  $\Delta X_2 = X_{изг} - \hat{X}_{изг}$ ;  $\Delta X_3 = X_{экс} - \hat{X}_{экс}$ ;  $\Delta X_4 = X_{перс} - \hat{X}_{перс}$ , имеют случайную составляющую, устранение которой невозможно по причине ее неопределенности [11]. Однако, по мере накопления достоверной информации, получаемой теоретически или экспериментально (по мере расширения рамок доступности информации для исследователей, а лучше – для исследователей проблемы ПАП), никому неизвестные неустраняемые погрешности  $\Delta X_1$ ,  $\Delta X_2$ ,  $\Delta X_3$ ,  $\Delta X_4$  трансформируются в устраняемые  $\Delta X_{np}$ ,  $\Delta X_{изг}$ ,  $\Delta X_{экс}$ ,  $\Delta X_{перс}$ .

Соотношение детерминантной и случайной составляющих уровня БП зависит от размерности (полноты) векторов  $\hat{X}_{пр}$ ,  $\hat{X}_{изг}$ ,  $\hat{X}_{экс}$ ,  $\hat{X}_{перс}$  и степени их

соответствия векторам  $X_{пр}$ ,  $X_{изг}$ ,  $X_{экс}$ ,  $X_{перс}$ , т.е. от полноты и качества всех видов испытаний и контроля, достоверности оценки текущего состояния авиационной системы и ее прогноза, от совершенства контрольно-измерительных и испытательных средств, математического и программного обеспечения процесса управления уровнем БП. Условием достижения максимума соответствия оценок векторов характеристик истинным векторам этих характеристик является соблюдение основных принципов анализа испытаний [12]:

- получение от экспертов (ученых, разработчиков, исследователей и практиков) знаний, необходимых для экспертизы АП, еще до начала проведения испытаний;

- предельно полное использование полученных знаний при автоматизированной обработке результатов испытаний в штатных и аварийных ситуациях.

Реализация указанных принципов предусматривается в два этапа:

1. Подготовка базы знаний и априорных данных для анализа результатов испытаний. Данный этап по своей направленности идентичен подготовке исходных данных для диагностики аварийных ситуаций в разрабатываемых бортовых системах (автоматах) безопасности.

2. Апостериорная редукция совокупности моделей исследуемой авиационной системы.

3. Оценивание вектора характеристик исследуемой авиационной системы и его динамики в редуцированном континууме состояний.

Таким образом, на каждом из этапов жизненного цикла ВС по результатам испытаний, контроля, оценки и прогноза состояний авиационной системы вырабатываются управляющие (корректирующие, компенсирующие) воздействия, направленные на последовательную поэтапную минимизацию несоответствия реального (текущего, прогнозируемого) уровня БП заданному (требуемому), чем обеспечивается управление уровнем БП по отклонению характерных параметров [3].

Какой уровень БП может быть, чтобы обеспечить ПАП. Какими должны быть минимальный (требуемый) уровень БП и желаемый (предельно возможный)?

Минимальный уровень в виде вероятности возникновения соответствующих ситуаций стандартизован [13, 14]:

катастрофической –  $< 10^{-9}$  – по отказным состояниям отдельных функциональных систем ( $< 10^{-7}$  – по отказным состояниям ВС в целом, т.е. не менее 2-х функциональных систем);

аварийной –  $10^{-9} - 10^{-7}$  ( $10^{-7} - 10^{-6}$ );

сложной –  $10^{-7} - 10^{-5}$  ( $10^{-6} - 10^{-4}$ );

усложнения условий полета –  $10^{-5} - 10^{-3}$  ( $10^{-4} - 10^{-2}$ ).

Приведенные цифры предполагают использование «Методики количественной оценки уровня БП и летной годности по данным эксплуатации» [14], область применения которой – оценка летной годности ВС, а для оценки уровня БП необходимо рассматривать авиационную систему по каждому из трех ее компонентов («Воздушное судно», «Экипаж», «Среда») непосредственно и во взаимосвязи, не ограничиваясь определением «вероятностей последствий (степени опасности)», более того, при определении общего уровня БП не следует рассматривать ошибки авиационного персонала, отказы техники и внешние воздействия, как независимые события.

Источник показателей желаемого, реально достижимого уровня БП – таблица смертности развитых стран, т.е. уровень БП должен стремиться к уровню безопасности жизни в развитых странах. Решение такой проблемы возможно заменой направления исследований «от происшедших АП – к вызвавшим их причинам» по останкам и фрагментам (при расследовании АП) на направление «от вероятных причин – к предотвращаемым АП» по математическим (логико-вероятностным), полунатурным и натурным моделям (при испытаниях), на функциональных, ситуационных и комплексных тренажерах.

Методология ПАП через управление уровнем БП призвана способствовать обновлению научных направлений БП, их расширению и углублению, предполагает приоритет фундаментальных (теоретических) исследований и препятствует ограничению науки «БП» рамками основных положений авиационной авариологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 06-08-01518

### Литература

1. *Кучеренко В. И.* Неучитываемые природные причины АП и других чрезвычайных ситуаций. /Труды общества независимых расследователей авиационных происшествий (Выпуск 17). – М.: Полиграф, 2005.

2. *Кучеренко В. И.* Системный кризис авиации. Дискуссионные материалы. /Труды общества независимых расследователей авиационных происшествий (Выпуск 18). – М.: Полиграф, 2006.

3. *Гузий А. Г., Малевинский Ю. А.* Корпоративная информационно-аналитическая система управления уровнем безопасности полетов и предотвращения авиационных происшествий. / Материалы Научных чтений по авиации, посвященных памяти Н. Е. Жуковского. Ч.2. – М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 2004. С.8 - 9.

4. Методические рекомендации по разработке Программы по предотвращению авиационных происшествий в гражданской авиации. – М.: Минтранс, 1999.

5. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Издание первое. Doc.9859 – AN/460.– ИКАО, 2006.

6. *Козлов В. В.* Классификация причин авиационных происшествий и инцидентов – эффективное средство повышения безопасности полетов. / Труды общества независимых расследователей авиационных происшествий (Выпуск 12а). – М.: Полиграф, 2001.

7. *Гузий А. Г.* Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронной аппаратуры. - М.: ФВА РВСН, 1999.

8. *Гузий А. Г., Рухлинский В. М.* Системный подход к формированию облика перспективных транспортных средств./ Всероссийская научно-техническая конференция «VIII Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского». Материалы. Часть 2. – М.: ВВИА, 2007.

9. *Гузий А. Г., Шаров В. Д.* Методический подход к априорному оцениванию эффективности мероприятий по предотвращению авиационных происшествий. /Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – М.: ВИНТИ, 2006, № 6.

10. *Богомолов А. В., Гузий А. Г., Кукушкин Ю. А.* Методология стабилизации функционального состояния оператора системы «человек-машина». // Мехатроника, автоматизация, управление, № 5, 2002.
11. *Тартаковский Д. Ф.* Метрология, стандартизация и технические средства измерений. – М.: Высшая школа, 2002.
12. *Андрюченко А. Я.* Управление безопасностью объектов ракетно-космической техники: анализ причин летного происшествия. // Проблемы безопасности полетов. - М.: ВИНТИ, 2004, № 2.
13. Единые нормы летной годности гражданских транспортных самолетов (НЛГС-3), 1985.
14. *Зубков Б. В., Люлько В. И., Поляков П. М.* Разработка методики количественной оценки летной годности по данным эксплуатации ВС. // Проблемы безопасности полетов. - М.: ВИНТИ, 2004, № 2.