

## **АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ОЦЕНКА РИСКОВ В СЛОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНООРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА**

**Резчиков А.Ф., Цвиркун А.Д., Дранко О.И., Степановская И.А.**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,*

*Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д.65*

*rw4cy@mail.ru,*

**Цесарский Л.Г.**

*Филиал ПАО "Корпорация "Иркут" "Центр комплексирования"*

*Россия, г. Москва, ул. Смольная, д. 24Д*

*lev.tsesarskiy@ic.irkut.com*

**Кушников В.А.**

*ФГБУН ФИЦ «Саратовский научный центр Российской Академии Наук»,*

*Россия, г. Саратов, ул. Рабочая, д.24*

*kushnikoff@iptmuran.ru*

**Богомолов А.С.**

*ФГБУН ФИЦ «Саратовский научный центр Российской Академии Наук»,*

*Россия, г. Саратов, ул. Рабочая, д.24*

*bogomolov@iptmuran.ru*

*Аннотация: В работе предложен порядок проведения анализа безопасности и выполнения оценки риска при функционировании сложной транспортной системы. Для оценки уровня риска и определения возможных управляющих воздействий, обеспечивающих сохранение требуемого уровня риска в процессе функционирования системы, использован модельноориентированный подход, заключающийся в разработке системы вертикально и горизонтально взаимосвязанных моделей нарушенного функционирования для составных частей системы. Изложены основные задачи в рамках проведения анализа безопасности.*

Ключевые слова: анализ, безопасность, модель, система, отказ, сценарий

### **Введение**

Современные транспортные системы, становятся все более сложными за счет роста масштабов, автоматизации принятия и выполнения решений и интегрированности составных частей. По мере роста сложности и масштабности сложных транспортных систем (СТС) становятся более частыми случаи нештатного функционирования и тяжесть их последствий. Это вызывает необходимость осуществления постоянного контроля текущего уровня риска с использованием проактивного и упреждающего моделирования. Такой подход должен позволить в режиме реального времени осуществлять эффективный мониторинг рисков в СТС и вносить необходимые коррективы для поддержания приемлемого уровня рисков [1]. При этом должны выявляться и предотвращаться нежелательные сценарии развития нештатных ситуаций в СТС. Это актуально для любой СТС, к которым относятся такие транспортные системы, как авиационная, космическая, а также комплексная авиационно-космическая.

### **1 Состав сложной транспортной системы**

В качестве примера СТС будем рассматривать авиационную транспортную систему (АТС). Компоненты этой системы приведены ниже. Отметим, что подобные компоненты характерны для любой СТС.

1. Воздушное судно, включая его системы, экипаж, эксплуатационно-техническую документацию, например, руководство по летной эксплуатации;
2. Система технического обслуживания и ремонта включает оборудование, материалы, технический персонал, эксплуатационно-техническую документацию, например, руководство по обслуживанию, руководство по эксплуатации.
3. Система управления воздушным движением (УВД) включает оборудование, персонал, нормативную и эксплуатационную документацию, комплекс технических средств, системное и прикладное программное обеспечение, необходимое для выполнения целевого назначения данной системы, и др.;

4. Аэродромные службы обеспечения полетов, в том числе оборудование, материалы, персонал, технические средства, программное обеспечение, нормативная и эксплуатационная документация.

## **2 Анализ безопасности и оценка риска при функционировании СТС**

В [2] риск (risk) определяется как влияние неопределенности на цели. В качестве цели мы рассматриваем обеспечение безопасности, как это формулируется в [3]: безопасность полета – это состояние, при котором возможность причинения ущерба лицам или имуществу снижена до приемлемого уровня и поддерживается на этом или более низком уровне посредством постоянного процесса выявления факторов опасности и управления факторами риска для безопасности полетов. При этом отмечена основная управленческая аксиома: нельзя управлять тем, что нельзя измерить. В [3] отмечается, что риск для безопасности полетов определяется как оценка последствий опасности, выраженная в виде прогнозируемой вероятности и серьезности возможных последствий. Т.о., для оценки рисков СТС необходимо определить все опасности, возникающие в процессе функционирования СТС, оценить вероятность возникновения и серьезность последствий для каждой опасности.

Как сказано в [4], главная цель оценки рисков заключается в идентификации всех возможных рисков и анализе каждого выявленного риска с целью разработки мероприятий по обеспечению безопасности и успеха миссии. При оценке риска должны использоваться методы, адекватно характеризующие вероятность (степень неопределенности) появления нежелательных событий, возможные сценарии их развития и последствия каждого сценария.

Ниже излагается подход к формированию автоматизированной системы управления рисками в СТС на основании модельно-ориентированного подхода на примере АТС. В необходимых случаях добавляются замечания относительно СТС.

## **3 Модельноориентированный подход и модель безопасности**

Модельноориентированный подход (model based approach) в настоящее время популярный метод при проведении анализа безопасности объектов и оценке рисков функционирования. В самом общем виде этот подход заключается в следующем.

1. Анализируемый объект декомпозируется на компоненты (а те, в свою очередь, на свои компоненты и т.д. до уровня, принятого базовым для данного компонента). В качестве компонентов могут рассматриваться технические устройства и программное обеспечение, люди (операторы, руководители, потребители, злоумышленники), внешние природные и техногенные явления и т.д.).
2. Задается структура объекта в виде связей (информационных, логических и др.) компонентов.
3. Формируются модели компонентов объекта на всех уровнях, позволяющие получить возможные нарушения работоспособности составных элементов.
4. На основании нарушений работоспособности компонентов, полученных из моделей компонентов, определяют нарушения работоспособности объекта в целом, оценивают вероятности выявленных нарушений, последствия и ранжируют критичность последствий для безопасности объекта.

В качестве примера можно привести методики CORAS [5], STPA [6]. Основной проблемой реализации модельно-ориентированного подхода является недостаточная формализация изложенного процесса, что приводит к субъективным результатам и отсутствие гарантии полноты анализа безопасности. Сформулируем основные требования к модели безопасности системы.

## **4 Общая постановка задачи**

Из определений риска [2] и безопасности [3], следует, что для управления рисками в АТС, как и в любой другой СТС (добавим, что не только в транспортной системе) необходимо идентифицировать все существующие риски, определить их источники (причины), оценить степень неопределенности для каждого риска (вероятность, частота, ожидаемость) и классифицировать каждый риск по степени его критичности.

Предлагается осуществлять управление безопасностью полета АТС на основании модели безопасности, охватывающей все составные части АТС и включающей модели безопасности функционирования каждой составной части АТС. Соответствующие модели должны, по меньшей мере, описывать перечень возможных рисков, возможные последствия рисков и вероятность. В

качестве источников рисков рассматриваются нарушения функционирования компонентов АТС, которые в свою очередь возникают из-за нарушений функционирования своих компонентов и так далее до уровня декомпозиции, принятого для данной системы исходным.

Примем, что перечень рисков однозначно определяется перечнем возможных видов нарушения функционирования СТС. Такое допущение приемлемо, хотя риски при отсутствии нарушений функционирования системы, т.е. при ее нормальном функционировании, существуют, но это означает, что система не предназначена для применения в рассматриваемых условиях. В данной работе этот случай не рассматривается.

С учетом сказанного, модель безопасности полета АТС, отвечающая задаче «проактивного и упреждающего моделирования рисков» и позволяющая «фактически в режиме реального времени осуществлять эффективный мониторинг авиационной системы» [1] должна решать следующие задачи.

Задача 1 Определение критериев оценки соответствия АТС требованиям безопасности, для СТС речь идет о критериях приемлемости «остаточного» риска (acceptable residual risks) [4].

Задача 2 Определение полного перечня возможных нарушений функционирования АТС (полного перечня рисков или сценариев рисков) в целом и отдельных компонентов. Перечень нарушений функционирования АТС и компонентов должен алгоритмически определяться на основании состава и структуры АТС, что обеспечит его объективность.

Задача 3 Определение всех возможных причин возможных нарушений функционирования АТС (источников рисков), при этом в качестве причин рассматриваются нарушения функционирования компонентов АТС на всех уровнях иерархии АТС с учетом «человеческого фактора». На основании выявленных причин нарушений функционирования определяется их вероятность. В дальнейшем для нарушения функционирования будем использовать термин «функциональный отказ» (ФО) [7].

Задача 4 Каждый ФО может иметь различные сценарии развития. В сценарий развития ФО входят внешние условия, действия экипажа, функционирование наземных служб и другие условия. Каждый сценарий реализует ту или иную особую ситуацию со своей критичностью. Необходимо выполнить оценку вероятности возникновения возможных особых ситуаций при функционировании АТС в каждый момент времени на заданном интервале функционирования АТС.

Задача 5 Определение последствий каждого из возможных ФО АТС и оценка их критичности в условиях реализации возможных сценариев развития ФО АТС.

Задача 6 Определение уровня безопасности по данным эксплуатации АТС и оценка его соответствия требованиям (оценка приемлемости риска)

Задача 7 Определение необходимости и содержания корректирующих мероприятий на различных уровнях иерархии АТС, обеспечивающих выполнение требований безопасности функционирования АТС при возможных видах нештатных состояний компонентов АТС в процессе функционирования АТС.

Рассмотрим пути решения указанных задач.

## 5 Критерии приемлемости риска

В качестве критерия приемлемости риска примем выполнение требований по безопасности полета АТС на определенных временных интервалах. Как уже говорилось, риск характеризуется последствиями и вероятностью. В связи с этим естественным критерием безопасности полета для АТС и ее составных частей является вероятность возникновения событий определенной критичности. В [7] эти события называются особыми ситуациями, которых всего 5, из них нормируются 3 особых ситуации: сложная ситуация (СС), аварийная ситуация (АС), катастрофическая ситуация (КС). Ситуация, называемая усложнением условий полета (УУП), вызывает незначительные риски для безопасности и не нормируется. Если ФО не изменяет риск при функционировании, такая ситуация обозначается БС (особая ситуация не возникает). В [7] требования относятся только самолету. Эти требования можно и целесообразно распространить на АТС в целом. Требования могут быть сформулированы в следующем виде.

При любом сценарии развития ФО любого компонента АТС вероятность возникновения КС не должна превышать  $10^{-9}$ , АС -  $10^{-8}$ , СС -  $10^{-6}$  за 1 час.

Для каждой СТС критерии (требования) безопасности могут быть определены на основании соответствующих государственных, отраслевых или корпоративных требований.

## 6 Определение полного перечня возможных рисков и всех источников рисков

Перечень рисков может быть получен разными методами. Любой используемый для этого метод должен обеспечивать результат, отвечающий вполне определенным требованиям. Для того, чтобы перечень рисков для данной рассматриваемой АТС или любой другой СТС, мог быть использован для выполнения оценки приемлемости риска, он должен отвечать следующим требованиям.

1. Перечень рисков должен быть полным, в том числе учитывать человеческий фактор (ЧФ). Должно быть определенное методическое обоснование полноты перечня рисков, определенных для данной АТС (СТС).
2. Перечень рисков для данной АТС должен быть единственным, т.е. независимым от исполнителя или каких либо других факторов, не связанных со свойствами АТС.
3. Перечень рисков может изменяться только при изменении свойств АТС, в первую очередь состава компонентов АТС и их связей с учетом взаимодействия с операторами (ЧФ).

Отметим, что рассматривается оценка риска для АТС в случае возможного нештатного функционирования компонентов АТС по любой причине, в т.ч. при внешнем воздействии (вмешательстве), если это воздействие (вмешательство) не приводит к физическому уничтожению АТС и ее компонентов.

В качестве перечня рисков для АТС будем использовать перечень возможных видов нарушений функционирования АТС или функциональных отказов (ФО) [8]. Полнота и объективность перечня ФО, как уже отмечено, должны обеспечиваться алгоритмически. Например, в [8] полнота и объективность перечня ФО при использовании метода приведения определяется тем, что для каждого элемента системы определяется модель нарушения функционирования (МНФ). МНФ представляет собой формальное описание нарушений входных и выходных сигналов элемента и их причин, в качестве причин рассматриваются виды отказов элемента. На основании МНФ элементов системы с учетом соединений элементов однозначно формируется МНФ системы (осуществляется «свертка» моделей). Процесс «свертки» моделей повторяется на каждом новом уровне иерархии систем. В результате полученный перечень ФО системы и их причины на каждом уровне иерархии однозначно определяются перечнем элементов системы и их соединениями. При этом операторы различных компонентов АТС рассматриваются как элементы соответствующих систем и имеют свои МНФ. Т.о., изложенный подход позволяет учесть ЧФ [9].

## 7 Оценка вероятности сценариев при реализации рисков в каждый момент времени на заданном интервале функционирования АТС

Каждый ФО, в зависимости от окружающих условий и функционирования различных составных частей АТС, в процессе последующего развития ситуации может привести к различным особым ситуациям. Каждой такой вариант развития ФО назовем сценариями развития событий. Необходимо определить вероятность соответствующих сценариев. Рис.1 иллюстрирует возможность различных сценариев развития исходного ФО ( $A_i$ ).  $C_j$  обозначен сценарий,  $B_{ij}$  – дополнительные события для ФО  $A_i$  и сценария  $C_j$ . Последовательность событий  $A_i$  и  $B_{ij}$  реализует тот или иной сценарий. В качестве событий  $B_{ij}$  рассматриваются дополнительные ФО, ошибки экипажа и наземных служб, параметры окружающей среды.

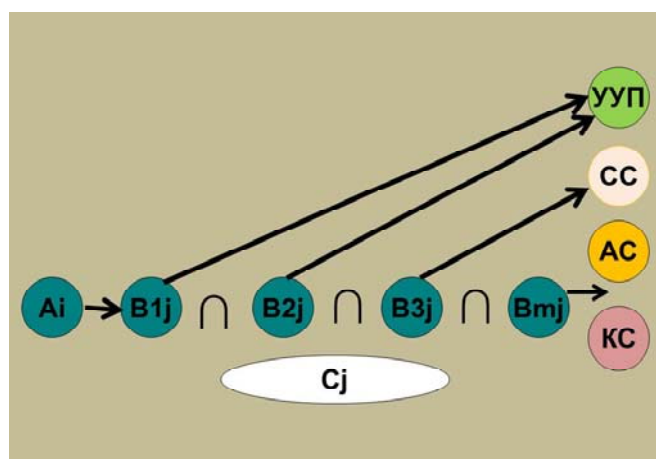


Рис.1. Сценарии развития события  $A_i$

На рис.2 схематически показана оценка вероятности реализующегося сценария  $C_j$ . Сформулируем задачу следующим образом.

Т.о., для оценки вероятности сценариев при реализации рисков в каждый момент времени на заданном интервале функционирования АТС необходимо для  $\forall A_i \in \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  построить деревья событий или логические уравнения, характеризующих возможные сценарии развития ситуации при возникновении ФО, соответствующего  $A_i$ , для всех совместных и осуществимых сочетаний  $B_i$ , т.е для всех сценариев  $C_j$ .

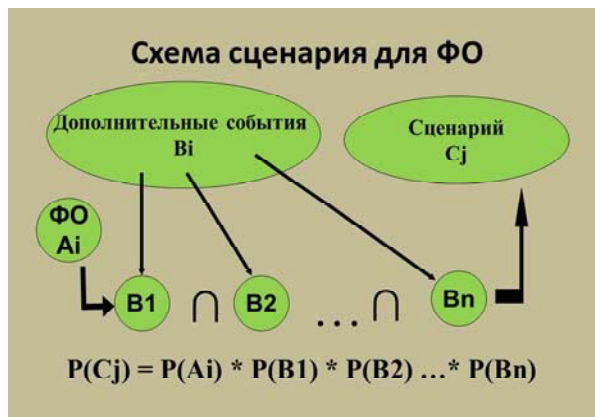


Рис.2. Оценка вероятности реализации сценария

## 8 Определение последствий каждого из возможных сценариев развития ФО

Для каждого сценария  $C(A_i)_k$  необходимо определить возможные последствия и их критичность для АТС. Для этого предлагается использовать схему, представленную на рис.1. Критерием служит значение  $P(C_i)$  для сценариев завершающихся катастрофическим событием (или другим событием, принятым в качестве недопустимого для рассматриваемой СТС).

Для оценки критичности опасностей в АТС предложен метод «достраивания событий» [8]. Данный метод заключается в том, что рассматриваются все возможные пути перехода из рассматриваемого состояния, например, возникшего в результате функционального отказа  $\Phi_0 \in \Phi$ , где  $\Phi$  – множество функциональных отказов, в состояние, признанное катастрофическим. Процесс достраивания заключается в том, что к исходному событию добавляются события из следующих множеств:

- множество функциональных отказов  $\Phi \setminus \{\Phi_0\}$ ;
- множество  $U$  возможных значений параметров ОУЭ;
- множество  $\mathcal{E}$  возможных ошибочных действий экипажа по выполнению предписанных функций.

Могут быть рассмотрены и другие множества событий, влияющих на возникновение особых ситуаций, например ошибочные действия службы управления воздушным движением (УВД), ошибочные действия наземного персонала при выполнении технического обслуживания (ТО), нарушения в работе различных наземных служб.

Метод достраивания событий базируется на следующих основных положениях:

- степень опасности ФО определяется возможностью того, что развитие ситуации приведет к катастрофе;
- катастрофа определяется возникновением определенных событий, связанных с состоянием самолета и его систем. Множество  $K$  этих событий является ограниченным и может быть определено заранее, независимо от типа самолета;
- множества ФО систем самолета, возможных ошибочных действий экипажа, службы УВД, наземного персонала, множество возможных значений параметров ОУЭ являются конечными и могут быть перечислены заранее.

Процесс "достраивания" можно рассматривать как решение уравнений вида

$$\Phi_0 \cap X = K_i, \quad (1)$$

где  $K_i \in K$ , из которых требуется найти  $X$  – последовательность из элементов множества дополнительных событий  $U \cup \mathcal{E} \cup \Phi \setminus \{\Phi_0\}$ .

## 9 Определение уровня безопасности по данным эксплуатации и оценка его соответствия требованиям

Определение уровня безопасности по данным эксплуатации АТС и оценка его соответствия требованиям осуществляется на основании модели, представленной в задачах 2-5. События в эксплуатации должны быть формализованы таким образом, чтобы их можно было представить в рамках описанной модели. Это означает, что все нарушения функционирования АТС в целом и ее компонентов и причины этих нарушений должны однозначно приводиться к параметрам модели безопасности. Для достижения этой цели необходима коррекция ряда нормативных документов, регламентирующих фиксацию и анализ событий в эксплуатации [10]. Это актуально не только для АТС.

## 10 Определение необходимости и содержания корректирующих мероприятий на различных уровнях иерархии СТС по результатам эксплуатации СТС

В соответствии с определением риска, как влияние неопределенности на цели [2], если в процессе эксплуатации не выявлено новых сценариев  $C_j$ , новые события  $A_i$  и  $B_{ij}$  отсутствуют, частота предусмотренных событий ожидаема и последствия учтены, то риск отсутствует и мероприятия не требуются. Корректирующие мероприятия не нужны, если все идет по плану.

В случае выявления в процессе эксплуатации новых сценариев  $C_j$ , необходимо оценить их последствия и вероятность как показано на рис. 1 и 2 и с использованием уравнения (1). По результатам этой оценки принимается решение о разработке корректирующих мероприятий.

Приведем небольшой пример, иллюстрирующий оценку критичности сценариев развития исходных событий. В этом примере для 4-х двигательного самолета определяется степень опасности для ФО «Отказ одного из 4-х двигателей на глиссаде» в качестве события  $A_i$  на рис.1. Мы будем опираться на формулу (1). Отметим, что в качестве исходного события можно выбрать любое событие  $B_{ij}$ , а события отказа рассматривать в качестве дополнительного события.

Для определения степени опасности ФО определяются сценарии совместных событий, содержащие все возможные цепи событий, достраивающих ФО до какого-либо катастрофического события из множества  $K$ . Рассмотрим следующие множества событий. Множество  $\mathcal{E}_i$  возможных ошибочных действий экипажа и множество  $\mathcal{V}_i$  возможных значений параметров окружающей среды.

Множество  $\mathcal{E}_i$  содержит следующие элементы:

- $\mathcal{E}1$  - выключение двигателя с опозданием, вероятность  $10^{-2}$ ;
- $\mathcal{E}2$  - отключен не тот двигатель, вероятность  $10^{-3}$ ;
- $\mathcal{E}3$  - парирование крена с опозданием, вероятность  $10^{-3}$ ;
- $\mathcal{E}4$  - парирование высоты с опозданием, вероятность  $10^{-4}$ ;
- $\mathcal{E}5$  – неправильное решение (решение о посадке / уход на второй круг), вероятность  $10^{-3}$ ;
- $\mathcal{E}6$  - опоздание с принятием решения, вероятность  $10^{-3}$ ;
- $\mathcal{E}7$  - ошибка со скоростью, вероятность  $10^{-2}$ ;
- $\mathcal{E}8$  - ошибка с высотой, вероятность  $10^{-3}$ .

Для оценки вероятности  $\mathcal{E}_i$  использованы данные [11].

Множество  $\mathcal{V}_i$  содержит следующие возможные значения скорости бокового ветра при посадке:

- $\mathcal{V}1$  - скорость бокового ветра  $W_z = 0$  м/с, вероятность 1,0;
- $\mathcal{V}2$  -  $W_z = 10$  м/с, вероятность  $10^{-2}$ ;
- $\mathcal{V}3$  -  $W_z = 15$  м/с, вероятность  $10^{-4}$ .

Для оценки вероятности  $\mathcal{V}_i$  использованы данные [12]. Для определения вероятностей ошибок экипажа при установке скорости и высоты входа в глиссаду использованы справочные материалы, где приведены данные, характеризующие интенсивность отказов, возникших в результате работы человека с органами управления и индикаторами.

Множество катастрофических событий  $K_i$  следующие элементы:

- $K1$  - невозможность балансировки по боковому каналу управления,
- $K2$  - касание земли до начала ВПП при посадке.

Критерием критичности сценария является вероятность  $P$  того, что сценарий приведет к одному из событий из множества  $K_i$ . Критериальные значения  $P$ , с учетом [7], приняты следующие: 1,0 для  $KС$ , 0,1 – 1 для  $АС$ ,  $10^{-3}$  - 0,1 для  $СС$ ,  $10^{-6}$  -  $10^{-3}$  для  $УУП$ , менее  $10^{-6}$  –  $БС$ .

Каждый сценарий представляет собой сочетание  $\Phi_i$  и совместных событий  $\Xi_i$  и  $U_i$ . Несколько примеров таких сценариев для рассматриваемого события  $\Phi_i$  «Отказ одного из 4-х двигателей на глиссаде» приведены в таблице 1.

Таблица 1 Примеры сценариев развития события  $\Phi_i$

№ сценария	Доп. события к $\Phi_i$	Анализ сценария и оценка его критичности
1	$\Xi_1$	отключение двигателя с опозданием не приводит к КС, степень опасности отказа - БС
2	$\Xi_2, \Xi_3$	отключение не того двигателя при парировании крена с опозданием приведет к КС (К2), вероятность $P=10^{-6}$ , степень опасности - УУП
3	$\Xi_3, \Xi_6$	парирование крена с опозданием при опоздании с принятием решения приведет к КС (К1), вероятность $P=10^{-6}$ , степень опасности - УУП
4	$\Xi_3, \Xi_7, U_2$	парирование крена с опозданием при ошибке с установкой скорости 4-го разворота и при боковом ветре 10 м/с приведет к КС (К2), вероятность $P=10^{-7}$ , степень опасности - БС
5	$\Xi_4, \Xi_8, U_3$	парирование высоты с опозданием при ошибочной установке высоты входа в глиссаду и при боковом ветре 10 м/с приведет к КС (К2), вероятность $P=10^{-12}$ , степень опасности - БС

Анализ сценариев показывает, что максимальное значение величины вероятностей дополнительных событий, достраивающих отказ одного двигателя до катастрофического события, составляет:  $10^{-5}$ , т. е. данный ФО, имеет степень опасности УУП.

## Заключение

В докладе излагается порядок выполнения анализа безопасности и оценка риска при функционировании АТС на основе модели безопасности. В качестве модели безопасности АТС рассматривается модель нарушений функционирования (МНФ) АТС в целом, включающая МНФ всех компонентов АТС на всех уровнях декомпозиции. Данный подход может быть реализован при анализе безопасности и оценке риска в сложных транспортных системах и других многокомпонентных и разнородных систем. При этом принципы формирования МНФ на различных уровнях иерархии систем сохраняют свою применимость.

## Литература

1. Глобальный план обеспечения безопасности полетов. 2020-2022, Международная организация гражданской авиации
2. ГОСТ Р ИСО 31000-2010 Менеджмент риска. Принципы и руководство.
3. ICAO Doc9859 An/474 Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП).
4. NPR 8715.3D NASA General Safety Program Requirements.
5. *Folker den Braber, Gyrd Brændeland, Heidi E. I. and others* The CORAS Model-based Method for Security Risk Analysis, – Oslo: SINTEF, September 2006. Электронное издание. <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF5150/h06/undervisningsmateriale/060930.CORAS-handbook-v1.0.pdf>
6. *Nancy G. Leveson, John P. Thomas*. STPA HANDBOOK, March 2018. Massachusetts Institute of Technology. Электронное издание. [https://psas.scripts.mit.edu/home/get\\_file.php?name=STPA\\_handbook.pdf](https://psas.scripts.mit.edu/home/get_file.php?name=STPA_handbook.pdf)
7. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. Межгосударственный авиационный комитет. 1994.
8. *Новожилов Г.В., Неймарк М.С., Цесарский Л.Г.* Безопасность полета самолета: Концепция и технология. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 194с.
9. *Новожилов Г.В., Резчиков А.Ф., Неймарк М.С. и др.* Проблема критических сочетаний событий в системе «экипаж – воздушное судно – диспетчер» // Общероссийский научно-технический журнал "Полет", 2015. №2. – С.10-16.
10. ПРАВИЛА расследования авиационных происшествий и авиационных инцидентов с государственными воздушными судами в Российской Федерации (ПРАПИ - 2000).
11. Справочник по надежности под ред. Б.Е. Бердичевского, в 3-х т., т.3, – М.: Изд-во Мир, 1970. – 376с.
12. Межгосударственный авиационный комитет Авиационный регистр Рекомендательный циркуляр РЦ25.1309 Конструкция и анализ систем.