

# Моделирование при управлении рисками авиапредприятий

С.В.Сипаров  
Лекция для студентов магистратуры ГУ ГА  
Санкт-Петербург

# План

- Введение: управление рисками и задачи моделирования
- Построение модели
- Байесовская вероятность
- Принцип построения Байесовской сети
- Использование сети для управления рисками АП
- Вопросы для самопроверки

# Руководящие документы

- Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) Международной организации гражданской авиации (ИКАО).
- Воздушный кодекс и Федеральный закон Российской Федерации.
- Правила разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими Министерства транспорта РФ и Федерального агентства воздушного транспорта.

# Введение

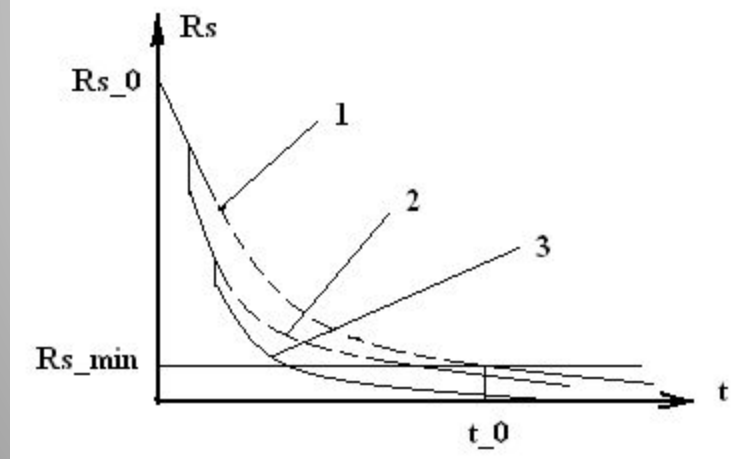
- Основные обстоятельства и определения
- Риск – составное понятие, (учитывающее как вероятность, так и ущерб).
- Нулевой уровень риска невозможен
- Уровень риска меняется со временем даже в отсутствие событий риска и связан с убылью ресурса
- События риска непредсказуемы, приводят к скачкообразному изменению ресурса и требуют специальных мер по его восстановлению до штатного уровня
- В чем состоит управление рисками?
- Управление рисками АП состоит в объективном, (не зависящем от мнения конкретного руководителя), обосновании характера и объема мер, необходимых для достижения заданного (штатного) уровня риска
- Эта задача может быть решена посредством моделирования

# Модель

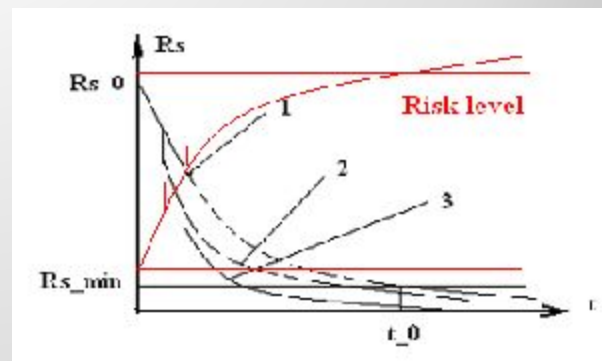
- **Что такое модель, зачем нужна и как пользоваться**
- Модель – математическое уравнение или функциональная зависимость, отражающие реальные процессы, содержащие измеряемые параметры. Модель используется для расчета величины целевого параметра по заданным остальным.
- **Выбор параметров модели и связанные с этим проблемы**
- Заданные параметры – измеряются непосредственно или вычисляются, в т.ч. путем расчета средних значений или вероятностей. Для малой выборки аппарат классической теории вероятностей непригоден.
- **Необходимость статистики на отдельном АП и в целом по отрасли**
- Для определения вероятностей необходимо как можно больше однородных данных.
- **Объект моделирования**
- Изменение уровня риска со временем (или расход ресурса, связанный с эксплуатацией ВС)
- Удобно привязать статистику всех событий (ЛЭ, АН, ТО, АэП) к каждому ВС для данного АП
- Уровень риска, характеризующий АП, может быть определен на основе уровней риска для каждого ВС

# Построение модели

- Ресурс  $R_s$  каждого ВС за время от начала эксплуатации ВС до любой из предусмотренных регламентированных работ по восстановлению ресурса меняется от  $R_{s_0}$  до некоторого  $R_{s_{\min}}$  (износ)
- Изменение ресурса  $\Delta R_s$  за время  $\Delta t$  пропорционально промежутку времени:  $\Delta R_s \sim \Delta t$
- Изменение ресурса  $\Delta R_s$  пропорционально самой величине  $R_s$  ресурса:  $\Delta R_s \sim R_s$
- Каждому ВС соответствует своя характерная скорость расхода ресурса,  $\lambda$ , связанная с типом ВС, условиями эксплуатации и другими параметрами.
- Пусть  $\lambda = \text{const}$
- Тогда  $\Delta R_s = -\lambda \cdot R_s \cdot \Delta t$ , откуда  $R_s = R_{s_0} \exp(-\lambda t)$ , где  $\lambda = \frac{1}{t_0} \ln \frac{R_{s_0}}{R_{s_{\min}}}$



1 – штатная эксплуатация  
2, 3 – события риска, ведущие к отходу от штатной кривой



Мониторинг деятельности АП позволяет учесть скачок, соответствующий событию риска  
Модель позволит обосновать достижение штатного уровня риска в результате принятых мер

# Байесовская вероятность

- Событие риска привело к скачку уровня риска. Для возвращения на штатный уровень необходимо:
  - 1 – определить величину скачка риска (вероятность и ущерб)
  - 2 – определить характер компенсирующих мероприятий (проверки и учения)
  - 3 – обосновать количество необходимых мероприятий (модель)
- Вероятность события риска зависит от большого числа факторов и очень мала по величине □ классическая теория вероятностей (КТВ) неприменима.
- КТВ основана на существовании вероятности события независимо от данных опыта  
Пример с бросанием монеты: изменение уверенности в исходе в зависимости от характера предшествовавшей серии
- Байесовская ТВ предлагает узнать вероятность события по данным опыта
- Пример с казино: как оценить возможность выигрыша
- В результате анализа данных *выдвигается гипотеза* о том, чему равна вероятность события, и *вычисляется вероятность* того, что эта гипотеза истинна.
- Пример с шарами: оценка вероятности может быть ошибочной, но без нее еще хуже

# Формула Байеса

- Известна формула Байеса

$$p(A | B) = \frac{p(A)p(B | A)}{\sum_A p(B)}$$

- Вероятность события  $A$ , определяемая с помощью набора событий  $B$ , равна априорной вероятности  $A$ , умноженной на условную вероятность каждого из событий  $B$  (условие –  $A$  имеет априорную вероятность), деленную на сумму вероятностей всех событий  $B$  при всех возможных  $A$ .

- **Все подробности можно при необходимости узнать у специалистов**

- Для работы важно понимать:

- $p(A)$  - «априори» - исходная вероятность величины ресурса (или уровня риска). Она берется в соответствии с кривой, задаваемой моделью.

- Условные вероятности  $p(B|A)$  – назначаются

- из локальной статистики;
- из экспертной оценки;
- заданы произвольно.

- Сумма вероятностей вычисляется известными математическими методами.

- Формула Байеса позволяет найти вероятность того, что «априори» имеет место при учете событий риска. Это даст возможность вычислить величину «скачка» на графике.



## Что это значит

- Выбираем «априори» - вероятность уровня риска до того, как событие риска имело место (с использованием графика).
- Задаем вероятности отдельных событий или действий, сопровождающих событие риска, например, генерирующих факторов.
- Выполняем расчет по формуле Байеса и получаем новое – апостериорное – значение вероятности уровня риска.
- Наступившее событие риска **УВЕЛИЧИВАЕТ** Байесовскую вероятность уровня риска.
- Это позволяет вычислить величину скачка, представленного на графике.

# Байесовские сети

- Набор генерирующих факторов события риска следует упорядочить, установив наличие между ними причинно-следственных связей.
- Тогда их можно представить в виде ориентированного графа – т.н. *Байесовской сети*.
- Каждой его вершине сопоставляется  $n$ -значная переменная (фактор), а ребра обозначают причинно-следственные связи между соединенными узлами. При этом сила таких связей, т.е. зависимостей между переменными, будет количественно выражаться в виде условных вероятностей, сопоставленных каждой из переменных. Основной идеей построения сети является разложение сложной системы на простые элементы.
- **Все подробности можно при необходимости узнать у специалистов**
- **Параметры модели рассчитываются с помощью Байесовской сети, построенной для данного АП. Структура сети должна отражать структуру состояния рисков. Проблемы, связанные с построением, настройкой и использованием сети, требуют специальных знаний или участия IT-специалиста. Задача руководителя АП или ответственного по управлению рисками – ясно понимать смысл и логику ее построения и участвовать в усовершенствовании сети, делая ее наиболее пригодной для своего АП.**
- **Известны существующие программные системы («MSBN», Microsoft и «Hugin», Hugin AIS), позволяющие создавать необходимые байесовские сети.**

## Использование сети для управления уровнем риска

- Произошло событие риска, которое не удалось предотвратить мерами по управлению безопасностью полетов.
- Ваши действия:
  1. Определить априорную вероятность уровня риска (до события риска) и рассчитать ее апостериорную вероятность (после события риска) с помощью Байесовской сети, построенной для данного АП. Найти их разность.
  2. Определить характер компенсирующих мероприятий в соответствии с профессиональными требованиями (например, отработка действий экипажа на тренажере).
  3. Провести контрольную проверку. Выбрать полученную в п.1 апостериорную вероятность в качестве априорной и рассчитать новую апостериорную вероятность с помощью Байесовской сети, построенной для данного АП. Найти новую разность между вероятностями.
  4. Если величина новой разности превосходит предыдущую, то вероятность события риска вернулась к исходному значению.
  5. Если новая разность не компенсирует предыдущую, следует продолжить компенсирующие мероприятия.
  6. Вернуться на пункт 3.

## Вопросы для самопроверки

- Можно ли управлять уровнем риска? Как?
- Кому нужна модель?
- Что она описывает и как ей пользоваться?
- В чем состоят современные проблемы?
- Риски – случайные процессы с недостаточной статистикой. Как быть?
- Чем Байесовская вероятность отличается от классической (частотной)? Ее преимущества и недостатки.
- Что такое Байесовская сеть?
- Как в принципе она строится? Кто строит и кто контролирует?
- Как пользоваться Байесовской сетью для управления рисками?
- Какие соображения Вы можете предложить по этому поводу?