

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОЦЕНКЕ РИСКА АВИАЦИОННОГО ПРОИСШЕСТВИЯ ПО ГРУППЕ ФАКТОРОВ «СРЕДА»

к.т.н. В.Д. Шаров, ООО «Волга-Днепр-Москва»

По статистике воздействия внешних условий (среды) являются причиной 13 – 20% авиационных происшествий (АП) [1]. Если под средой понимать совокупность всех компонентов сложной динамической системы «Экипаж - Воздушное судно - Среда» (Э-ВС-Ср), которые не могут быть отнесены к экипажу или воздушному судну, эта доля существенно возрастет. Неудовлетворительное состояние аэродрома, недостатки нормативных документов, эксплуатационных процедур и программ обучения, сложные метеоусловия, сбои в системах управления воздушным движением в той или иной степени являются сопутствующими факторами большинства АП.

Классификация факторов среды возможна по различным признакам: физической природе, характеру влияния на ВС и экипаж, этапам полета, интенсивности воздействия, дискретности, взаимозависимости и т. д. Ввиду сложности охвата факторов среды для полета в целом целесообразно конкретизировать задачу и рассмотреть основные факторы, характерные для одного из этапов.

Будем рассматривать факторы, характерные для этапа захода на посадку и посадки, на который приходится 55% всех АП [2]. Для факторов рассматриваемого этапа на основе объединения подходов ИКАО [3] и отечественной практики [4] можно предложить классификацию, представленную на рис. 1.

Очевидно, что показатели влияния среды должны соответствовать выбранной общей модели расчета прогнозируемого уровня безопасности предстоящего полета (или риска АП) и быть количественно оцениваемыми. При этом для любого метода учета факторов среды важнейшими являются следующие [5] принципы:

- системность охвата факторов;
- реализуемость;
- применимость;
- достоверность оценки и прогноза;
- доступность исходной информации;
- расширяемость массива учитываемых (прогнозируемых) факторов;
- корректируемость алгоритмов и расширяемость базы данных.

Для любой модели подход к оценке влияния фактора сводится к расчету риска R , связанного с данным фактором, который представляет собой функцию:

$$R = f(P, I),$$

где - P – вероятность наступления рискованного события;

I – потенциальная тяжесть воздействия фактора риска.

Рассмотрим кратко известные подходы к решению задачи оценки риска АП.

1. Качественное оценивание риска методом ранжирования по категориям.

Используются матрицы рисков различной размерности:

$$R \equiv [r_{ij}], \quad r_{ij} = a_i b_j,$$

где $a_i; b_j$ - численные характеристики возможности и тяжести (серьезности последствий) данного рискованного события. ИКАО [6] предлагает использование матрицы 5×5. В отдельных руководствах (например, в [7]), предлагается просто присваивать a_i и b_j целочисленные значения (от 1 до 5), как категории возможности и тяжести.

Каждый фактор должен быть отнесен к одной из категорий. Устанавливаются некоторое значения приемлемого риска R_{\max} и при $R > R_{\max}$ данный фактор считается опасным.

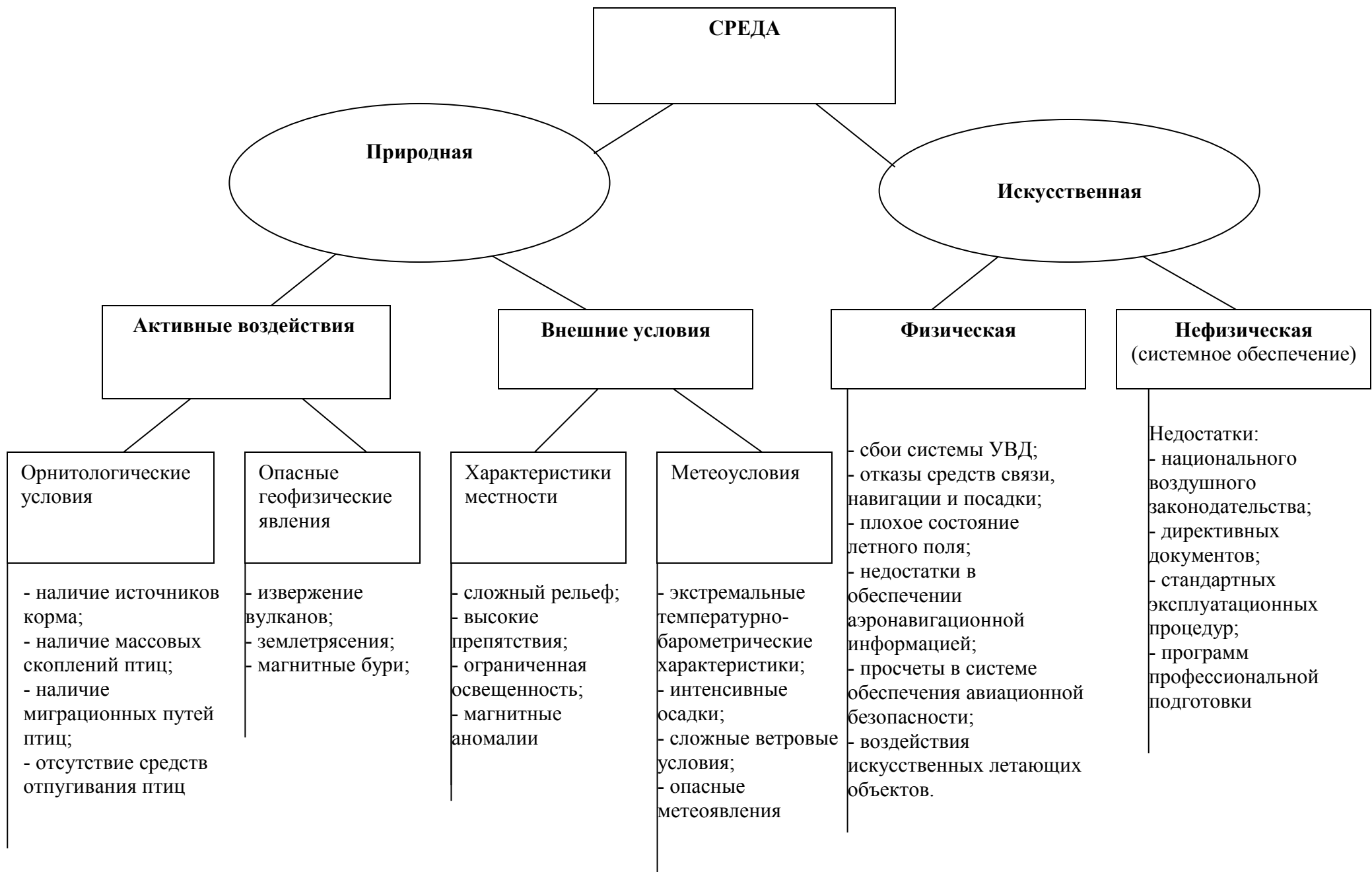


Рис. 1 Классификация факторов группы «Среда»

Методы расчета характеристик возможности и тяжести не приводятся, поэтому метод не нашел пока широкого применения. Данный подход, разумеется, может быть применен к факторам среды, но он сужает возможности по учету их разнообразия и интенсивности воздействия, а значит и достоверность оценок.

2. Вычисление оценок вероятностей на базе логико-вероятностной модели развития ОС [4].

Данный метод может быть реализован, например, с помощью последовательного применения перебора гипотез [1] и формулы полной вероятности. При этом используется принятая в отечественной практике градация особых ситуаций (ОС).

Обозначим ситуации и вероятности их возникновения следующим образом:

- нормальные условия полета (НУ) – $S_1, P(S_1)=Q_1$;
- усложнение условий полета (УУП) – $S_2, P(S_2)=Q_2$;
- сложная ситуация (СС) – $S_3, P(S_3)=Q_3$;
- аварийная ситуация (АС) – $S_4, P(S_4)=Q_4$;
- катастрофическая ситуация (КС) – $S_5, P(S_5)=Q_5$.

Этот метод рассматривает результаты воздействия факторов как независимые и совместные события, а переход системы в одну из ОС под воздействием каждого из факторов или любого их сочетания может проходить как из НУ, так и из ситуации с меньшей степенью опасности. Так, для вероятности СС при наличии n факторов имеем:

$$Q_3 = Q_1 Q_{1 \rightarrow 3} + Q_2 Q_{2 \rightarrow 3};$$

$$Q_2 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i^{12} + q_i^{12} r_i^{12}); \quad Q_1 = 1 - Q_2,$$

$$Q_{1 \rightarrow 3} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i^{13} + q_i^{13} r_i^{13}),$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i^{23} + q_i^{23} r_i^{23}).$$

где: $Q_{1 \rightarrow 3}$ и $Q_{2 \rightarrow 3}$ - вероятности перехода из НУ и УУП соответственно в СС;

q_i^{12}, q_i^{13} - вероятности перехода из НУ в УУП и СС соответственно под воздействием i -го фактора ($i = \overline{1, n}$);

q_i^{23} - вероятности перехода из УУП в СС под воздействием i -го фактора;

$r_i^{12}, r_i^{13}, r_i^{23}$ - вероятности предотвращения данных переходов.

Нетрудно заметить, что число вероятностных характеристик q_i по каждому фактору равно 10, что существенно увеличивает сложность оценки факторов.

3. Применение теории марковских процессов.

Считая, что воздействия негативных и предотвращающих факторов являются пуассоновскими потоками, можно рассматривать переход из состояния в состояние как марковский процесс [8] с дискретными состояниями и непрерывным временем (рис. 2).

Система дифференциальных уравнений Колмогорова в данном случае имеет вид:

$$\frac{dQ_k(t)}{dt} = \sum_{m=1}^5 Q_m(t) \lambda_{mk}(t, \Sigma q_i) - Q_k(t) \sum_{m=1}^5 \mu_{km}(t, \Sigma r_i),$$

где $\lambda_{mk}(t, \Sigma q_i)$ и $\mu_{km}(t, \Sigma r_i)$ - интенсивности перехода системы соответственно из состояния m в k и обратно ($k = 1, 2, \dots, 5; m = 1, 2, \dots, 5; k \neq m$) как функции времени и воздействия всех факторов риска и предотвращения.

Очевидно, что основная сложность заключается в получении оценок интенсивностей, даже если принять, что на этапе захода влияние каждого фактора постоянно во времени.

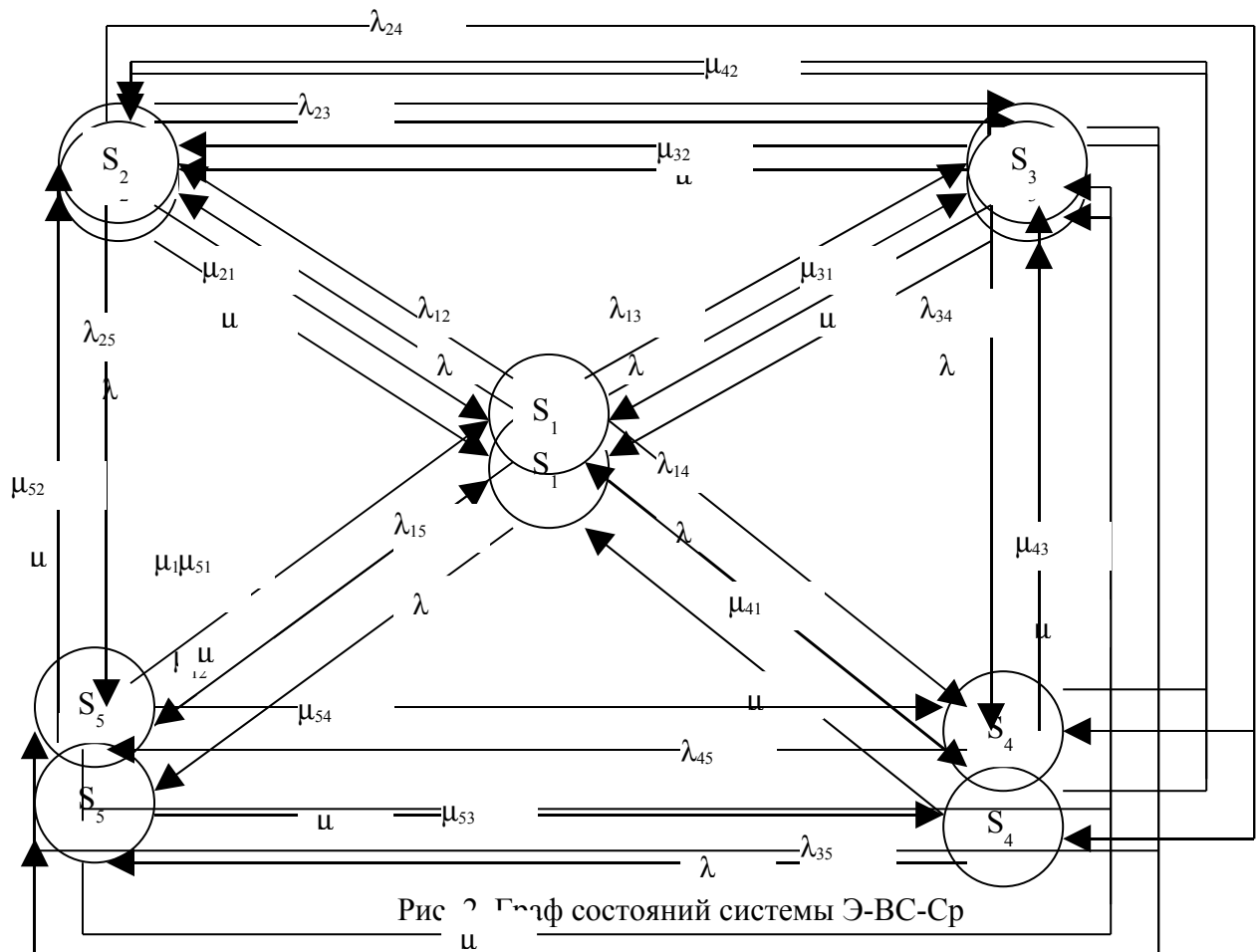


Рис. 2. Граф состояний системы Э-ВС-Ср

4. Оценка факторов с использованием коэффициента λ и индикаторов риска.

В работе [9] предлагается отказаться от вероятностных показателей и рассматривать рискованное событие q_{iR} как завершение цепочки событий $L_R = \{q_{i0}, q_{iR}\}$, образующих сценарий развития процесса в заданной системе.

Вводится понятие меры риска:

$$m_{R\Sigma} = \sum m_{i1}(L_R) - \sum m_{i2}(L_R) = \Delta_{12},$$

где: m_{i1} - риски опасности;

m_{i2} - шансы благоприятных результатов при воздействии на риск;

Δ_{12} - невязки или «дефект риска» [КК].

Меры m_{i1} и m_{i2} рассчитываются на основе экспертного оценивания, при этом используются методы нечеткой логики. После суммирования коэффициентов вычисляется Δ_{12} , который сравнивается с нормой Δ_{12}^* . При их близости предлагается перейти к анализу процессов и уменьшить риск переходом к другим цепочкам событий.

Предлагаемый способ по существу является математическим обоснованием схемы применения Перечня CFIT - Столкновения исправного ВС с землей [10], программы FORAS [11] и корпоративных программ. Эти программы применяются, несмотря на недостатки, связанные, прежде всего, с неполным охватом факторов и субъективизмом в их оценке.

Рассмотрим, в какой степени риски среды могут быть оценены в мерах, применимых для расчета суммарного риска по приведенным выше моделям. Для этого более удобна классификация факторов, принятая для рисков бизнеса [12]. В зависимости от характера исходной информации и способа описания неопределенности риски делятся

на детерминированные (выполняется условие определенности), стохастические (частичная неопределенность) и лингвистические (полная неопределенность).

В таблице приведены примеры факторов среды, сгруппированных по данному принципу.

Таблица

Условия определенности (детерминированные)	Условия частичной неопределенности (стохастические)		Условия полной неопределенности (лингвистические)
	Вероятностные	Статистические	
Сложный рельеф и препятствия	Сбои в системах УВД и опасные сближения	Столкновения с птицами	Недостатки нормативной документации
Ограниченные размеры летного поля	Отказы наземных и космических технических средств	Экстремальные погодные условия	Недостатки программ обучения и тренировки
Недостаточная оснащенность аэродрома радио- и светотехническими средствами	Искажения аэронавигационных данных	Опасные метеоявления	Ошибки персонала при техобслуживании, организации полетов, УВД и т. д.
Полет в особых географических условиях	Попадание в спутную струю другого ВС	Ошибки в прогнозах погоды	Просчеты в обеспечении авиационной безопасности
Постоянные ограничения		Опасные геофизические явления	
Условия освещенности			

Исходная информация для расчета ряда **детерминированных рисков** (например, ограниченные размеры ВПП или близкое к предельному превышение аэродрома) содержится в документах аэронавигационной информации, прежде всего в AIP – сборнике аэронавигационной информации государства, а также в извещениях для пилотов – NOTAM и циркулярах AIC.

Известно [12], что для расчета детерминированных рисков в предпринимательской деятельности могут служить классические методы анализа и программирования, математической логики и др. Применительно к авиационной деятельности методика расчета таких рисков не разработана.

Можно предложить применение вероятностного подхода в отдельных случаях, например по отношению к рискам, связанным с эксплуатацией в предельно допустимых условиях, рассматривая вероятность ОС по таким факторам как нелинейную функцию от модуля разности предельно-допустимого ($P_{пред}$) и текущего ($P_{теку}$) значения параметра:

$$q_i = f[P_{пред} - P_{теку}]$$

На практике для таких рисков применяется бальная система оценок факторов в программах CFIT и в некоторых корпоративных программах, например в Программе предотвращения АП при полетах на сложные аэродромы авиакомпании «Волга-Днепр». В этих программах баллами и коэффициентами с разными знаками оцениваются как факторы риска, так и факторы предотвращения. Так, в [10] с помощью коэффициентов учитываются географические условия и освещенность, а с помощью бальных оценок возможности аэропорта и диспетчерского пункта подхода, а также сложный рельеф и недостаточная оснащенность аэродрома.

В [2] приводится более широкий перечень факторов риска среды, в том числе и постоянных, для этапа захода на посадку и посадки. При этом количественно риски не оценены, приведена лишь статистика их вклада в общее число АП.

В целом перевод баллов и коэффициентов в вероятностные оценки представляется достаточно сложной задачей, но они могут быть легко адаптированы к использованию в моделях, основанных на индикаторах риска.

Для факторов среды, имеющих **случайный характер**, риск описывается распределением вероятностей на заданном множестве факторов. Вероятность отказа средств связи, навигации, УВД и др. может быть рассчитана на основании классических приемов теории надежности технических систем.

Вероятность искажения аэронавигационных данных может быть оценена на основании требований к целостности данных из «Квалификационных требованиях по обработке аэронавигационных данных» (КТ-200А). Эти требования в зависимости от статуса (важности) данных задаются как 10^{-3} , 10^{-5} и 10^{-8} и непосредственно интерпретируются как вероятности возникновения УУП, СС и АС.

В ряде случаев возможен расчет вероятности воздействия метеофактора на основании известных метеорологических параметров. В метеорологии в качестве исходного принимается соотношение:

$$P_{OC}(a) = \int_{a_{\min}}^{a_{\max}} f(a)P_{OC}(a)da,$$

где $P_{OC}(a)$ – вероятность возникновения ОС при воздействии с указанной интенсивностью, $r(a)$ – плотность вероятности возникновения воздействия с интенсивностью a на одну посадку.

Например, в [13] получена формула расчета вероятности поражения ВС молнией для конкретного региона и времени года. Аналогичные формулы имеются и для интенсивного воздействия статического электричества.

Как известно, необходимой предпосылкой для обоснованного использования стохастических моделей является наличие статистически значимой информации о прошлых реализациях переменной. Многолетняя статистика экстремальных погодных условий, опасных метеоявлений, а также орнитологической обстановки имеется для каждого аэропорта. Это дает возможность при планировании полетов рассматривать каждую из этих характеристик как случайный процесс и применять аппарат теории случайных функций.

Разумеется, при расчете рисков, связанных с метеоусловиями в предстоящем полете, наиболее значимым материалом является метеопрогноз. При этом необходимо вносить коррективы на его оправдываемость, которая для важных факторов известна для каждого аэродрома, времени года и суток. Имеются и осредненные данные, например, общая оправдываемость 9-ти часовых прогнозов по пяти параметрам (высоте нижней границы облачности, видимости, явлениям погоды, направлению и скорости ветра) в 1987-88 гг. составляла 66% [14].

Частично прогнозируются и опасные геофизические явления: предупреждения об извержениях вулканов и вероятные направления перемещения облака пепла, а также его плотности, публикуются в специальных NOTAM.

Можно сделать вывод, что стохастические риски являются категорией, наиболее удобной для оценки с позиций классических вероятностных подходов.

Для условий полной неопределенности, когда природа причин риска носит нечеткий характер, можно применять лингвистические и нестохастические модели.

В самом общем виде в лингвистических моделях неопределенность описывается задаваемой вербально функцией принадлежности, для построения которой используются экспертные суждения о степени предрасположенности того или иного потенциально

возможного события к тому, чтобы быть реализованным. При этом применяется аппарат нечеткой логики и не требуется уверенности в повторяемости событий.

На практике учет факторов, названных здесь лингвистическими, производится в некоторой степени при использовании упомянутых выше программ (SFIT, FORAS, корпоративные программы). Например, риски, связанные с недостатками летных стандартов, нормативных документов, программ обучения, обеспечения авиационной безопасности и даже корпоративной безопасной культуры эксплуатанта оцениваются баллами, а риски, определяемые недостатками региональных правил полетов, – с помощью коэффициентов.

Таким образом, существующие подходы, опыт и накопленный статистический материал позволяет достоверно с вероятностных позиций оценить риски лишь отдельных категорий факторов среды: в соответствии с предлагаемой табличной классификацией по степени определенности это, в основном, стохастические и отдельные детерминированные риски.

Для значительного числа факторов среды задача идентификации и оценки рисков не решена и требует дополнительных исследований. При этом представляется возможным использовать методы, применяемые в настоящее время для оценки рисков в других областях техники и в предпринимательской деятельности.

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

Литература

1. Безопасность полетов летательных аппаратов. Под ред. В. С. Иванова. - ВВИА им. Н.Е Жуковского, 2003.
2. На пути к снижению аварийности при заходе и выполнении посадки. - Аэрофлот – Airbus, 2005.
3. Руководство по предотвращению авиационных происшествий. (Doc. 94212–AN/923). Первое изд.-1984 год. – ИКАО, 1984.
4. Руководство по информационному обеспечению автоматизированной системы обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации РФ (АОСБП).- М.: ООО «Аэронавигационное консалтинговое агентство», 2002.- 192 с.
5. *Гузий А.Г., Онуфриенко В.В.* Методология предотвращения авиационных происшествий через активное управления уровнем безопасности предстоящих полетов.// Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. № 3, 2006.
6. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). (Doc 9859-AN/460). Первое издание-2006 год. – ИКАО, 2006.
7. Safety Management Systems for Flight Operations and Aircraft Maintenance Organizations. A guide to implementation. - Transport Canada, 2006.
8. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.
9. *Кацман. Ф.М., Куклев Е.А.* Единые теоретические подходы к оценке безопасности транспортных средств.
10. FSF CFIT Checklist, Evaluate the Risk and Take Action// Flight Safety Digest. Vol. 15. № 7/8. July-August 1996. p. 26-29.
11. McCarthy, U.S. Naval Research Laboratory, D. Schwartz, AT&T. Modeling Risk with the Flight Operation Risk Assessment System (FORAS). ICAO Conference in Rio-de-Janeiro, Brazil, Nov. 1999.
12. *Ступаков В.С., Токаренко Г.С.* Риск-менеджмент.- М.: Финансы и статистика, 2005, 281 с.

13. *Тихомиров Ю.В.* Комплексная оценка вероятности поражения молнией самолетов гражданской авиации.// Обеспечение безопасности полетов в СМУ: Межвузов сб. научных трудов. - М.: МГТУ ГА, 1996. – с. 13-21.

14. *Филатова Т.В.* К оценке оправдываемости авиационных прогнозов погоды.// Физические процессы в атмосфере и безопасность полетов воздушных судов: Межвуз. тематический сб. Под ред. П.В. Силвестрова. – Л.: ОЛАГА, 1989., с. 41-47.