

УДК 351.814.1

ББК 39.58

M25

П. О. Марасанов

Москва, Россия

АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

В настоящее время сформирована и функционирует авиационная транспортная система – сложное структурное образование. Для оценки функционирования авиационной транспортной системы разработан специальный критерий – уровень безопасности полётов. Проявление неблагоприятных факторов приводит к формированию и развитию в системе особых ситуаций. Для оценки возможных последствий разработана специальная классификация видов (или рангов) особых ситуаций.

Ключевые слова: авиационная транспортная система, уровень безопасности полётов, система электроснабжения аэропорта, особая ситуация, вероятностная математическая модель.

P. O. Marasanov

Moscow, Russia

THE ANALYSIS OF CASUAL PROCESSES AT INTERACTION OF STRUCTURAL ELEMENTS OF AVIATION TRANSPORT SYSTEM

Nowadays an aviation transport system - a complex structural formation - is developed and operating. The level of safety of flights is a special criterion which is developed for an assessment of aviation transport system functioning. Adverse factors lead to formation and development of particular situations in the system. To assess

the possible consequences a special classification of kinds (or ranks) of particular situations is developed.

Key words: aviation transport system, the level of safety of flights, airport power supply system, particular situation, probabilistic mathematical model.

В конце 40-х годов прошлого века была нормативно утверждена концепция системного использования воздушных (авиационных) трасс и коридоров, приняты требования надёжности для воздушных судов (ВС), осуществляющих по ним грузовые и пассажирские перевозки [ICAO Doc7300, 1944, p. 1]. Это дало толчок к формированию системы, в которой осуществляется сложное взаимодействие между наземными и воздушными техническими средствами, окружающей средой и человеческим фактором. Данная структура получила название авиационной транспортной системы (АТС) [ICAO Doc7300/9, 2006, p. 1; Блохин, 1984, с. 5].

Сбои в работе АТС вызывают широкий общественный резонанс, социальную напряженность и экономические потери, поэтому требования безопасности производства полётов являются приоритетным направлением и постоянной практической задачей для конструкторов, производителей, эксплуатантов авиационной техники, специалистов по разработке и эксплуатации технических систем и устройств, необходимых для обеспечения производства полётов [ICAO Doc9422, 1984, p. 1; Шорин, 1975, с. 1].

Характеристика авиационной транспортной системы

Авиационная транспортная система (АТС) представляет собой совокупность структурных элементов, которые находятся друг с другом в сложных, часто слабоформализуемых связях и образуют определенную целостность [Крохин, 1987, с. 19; Прокофьев, 1985, с. 1].

Для исследования сложных комплексных задач используется понятие системы, совокупности подсистем, а также методы системного анализа [Белов, 1996, с. 7; Шорин, 1975, с. 1]. В принятой постановке анализа АТС характери-

зудается как сложная эргатическая система, состоящая из совокупности простых систем (рис. 1).

Отличительной особенностью любой эргатической системы является постоянно растущее несоответствие технических характеристик и возможностей технических устройств, машин и средств механизации возможностям человека-оператора, который занимается обеспечением подготовки и эксплуатацией авиационной техники и систем различного назначения [Белов, 1996, с. 9; Крохин, 1987, с. 125].



Рис. 1. Структура авиационной транспортной системы

АТС характеризуется признаками, присущими сложной технической системе:

- большим количеством элементов различного назначения, взаимодействующих друг с другом и имеющих строго ориентированную иерархическую структуру;

- подчиненностью всех элементов и образуемых ими локальных подсистем одной целевой функции;
- наличием защитных элементов и систем, обеспечивающих защиту от аварийных ситуаций или устраняющих последствия отказов;
- возможностью воздействия случайных факторов, приводящих к отказу элементов.

Под случайными факторами подразумеваются негативные факторы окружающей среды, с которыми АТС находится в непрерывном контакте.

Особой отличительной чертой является то обстоятельство, что функционирование АТС связано с постоянными рисками, а главной характеристикой функционирования АТС является уровень безопасности полётов (УБП), который определяется надёжностью элементов системы и условиями окружающей среды [ICAO Doc9422, 1984, р. 13; Прокофьев, 1985, с. 1].

Особые ситуации, возникающие при функционировании АТС

Производство этапов полёта в районе расположения аэропорта (аэродрома) обосновывается некоторыми условиями, которые называются ожидаемыми условиями эксплуатации (ОУЭ) [ICAO Doc9422, 1984, р. 10; Крохин, 1987, с. 101; Прокофьев, 1985, с. 1].

Ожидаемые условия эксплуатации ВС в районе расположения аэропорта (аэродрома) определяют область расчётных условий, эксплуатационных ограничений, рекомендуемых режимов полёта, установленных для данного типа ВС, а безопасная эксплуатация ВС гарантируется только в ОУЭ.

При производстве всех этапов полёта экипаж и функциональные системы удерживают ВС в пределах рекомендуемых режимов полёта.

Результатом выхода параметров полёта за границу области рекомендуемых режимов полёта на борту ВС является некоторое состояние, которое характеризуется отклонением от нормального полёта. Такое состояние называется особая ситуация (ОС), инцидент или авиационное происшествие [ICAO Doc9422, 1984, р. 10; Крохин, 1987, с. 5].

Особые ситуации по степени (или рангу) их опасности разделяются для конкретного типа ВС, а в соответствующих нормах годности приводятся наиболее четкие определения ОС для конкретного типа ВС [ICAO Doc9422, 1984, p. 10; Прокофьев, 1985, с. 1].

Развитие особых ситуаций (аварийных последовательностей) при производстве полётов чаще всего начинается с проявления особой ситуации меньшей степени тяжести, а затем может привести к возникновению более высокого ранга опасности, включая состояние – катастрофическую ситуацию.

Влияние системы электроснабжения аэропорта на УБП в АТС

Система «экипаж-ВС» – предназначена для выполнения полётов по назначению и занимает центральное место в АТС (*рис. 1*).

Система электроснабжения аэропорта (СЭС АП) является одной из структурных подсистем АТС и обладает типичными свойствами эргатической системы «человек (оператор) – машина (техническое устройство)» [Крохин, 1987, с. 5; Шорин, 1975, с. 43]:

- техническая обеспеченность и оснащение подсистемы (службы);
- функциональная эффективность и надёжность технических средств;
- организация рабочего функционирования подсистемы (службы);
- уровень профессиональной подготовки и квалификации операторов;
- уровень психофизиологического состояния операторов;
- производственная дисциплина операторов;
- системы мониторинга качества функционирования подсистемы.

Элементы СЭС АП осуществляют взаимодействие практически со всеми структурными элементами АТС, которые отвечают за надёжное и регулярное обеспечение производства полётов (*рис. 2*).

В конечном итоге взаимодействие СЭС АП с элементами АТС формирует одно из возможных (или случайных) состояний системы «экипаж-ВС» а, значит, и уровень безопасности полётов АТС.

СЭС АП является эргатической технической системой, для которой характерно взаимодействие между техническими элементами, механизмами и устройствами и персоналом соответствующих служб, занятых эксплуатацией технических систем в формате «человек–оператор».

Надёжность элементов СЭС АП является объектом исследований, который в числе других факторов и определяет УБП в АТС. При анализе надёжности элементов СЭС АП используются методы анализа УБП, в частности, система ранжирования особых ситуаций при производстве полётов [ICAO Doc9422, 1984, р. 10; Крохин, 1987, с. 5; Прокофьев, 1985, с. 1].

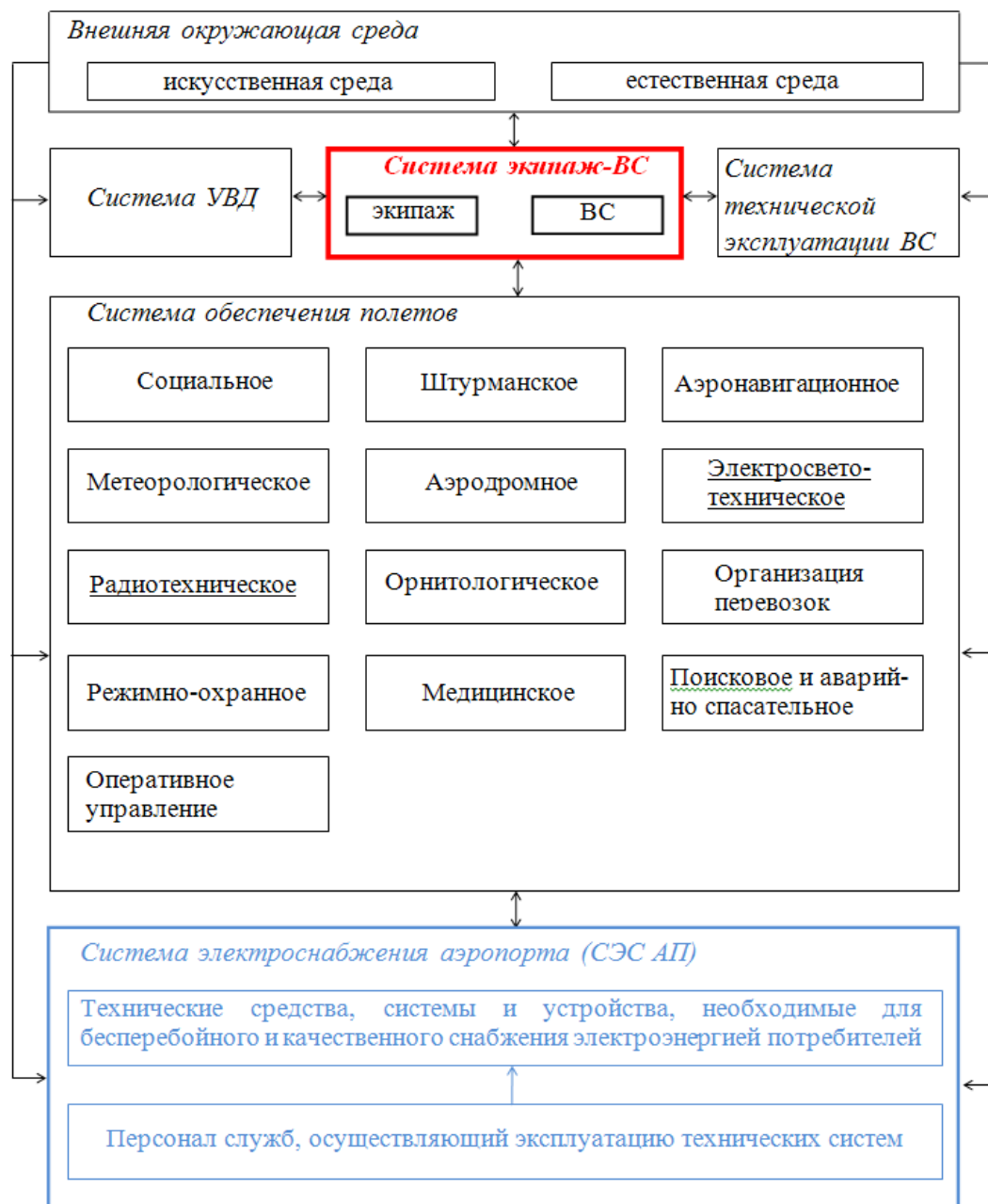


Рис. 3. Схема взаимодействия СЭС АП со структурными элементами АТС

Вероятностная модель надёжности СЭС АП

Вероятностная математическая модель системы электроснабжения аэропорта предназначается для проведения системного анализа показателей её надёжности. При помощи математической модели возможно:

– выявить потенциальные источники, которые возникают в структурных элементах СЭС АП и являются аварийными факторами (АФ) для проявления ОС различного ранга тяжести в АТС;

– производить оценку надёжности функционирования и взаимодействия элементов СЭС АП, ориентируясь на ранги особых ситуаций, принимаемых для оценки УБП в АТС;

– определять количественные значения вероятностей состояний СЭС АП.

Для анализа функционирования СЭС АП разработана математическая модель, в которой производится анализ случайного марковского процесса типа «гибель и размножение» [Вентцель, 2000, с. 364]. Топология модели включает пять дискретных возможных состояний системы и представлена в виде вершин и направлений перехода между состояниями (рис. 3).

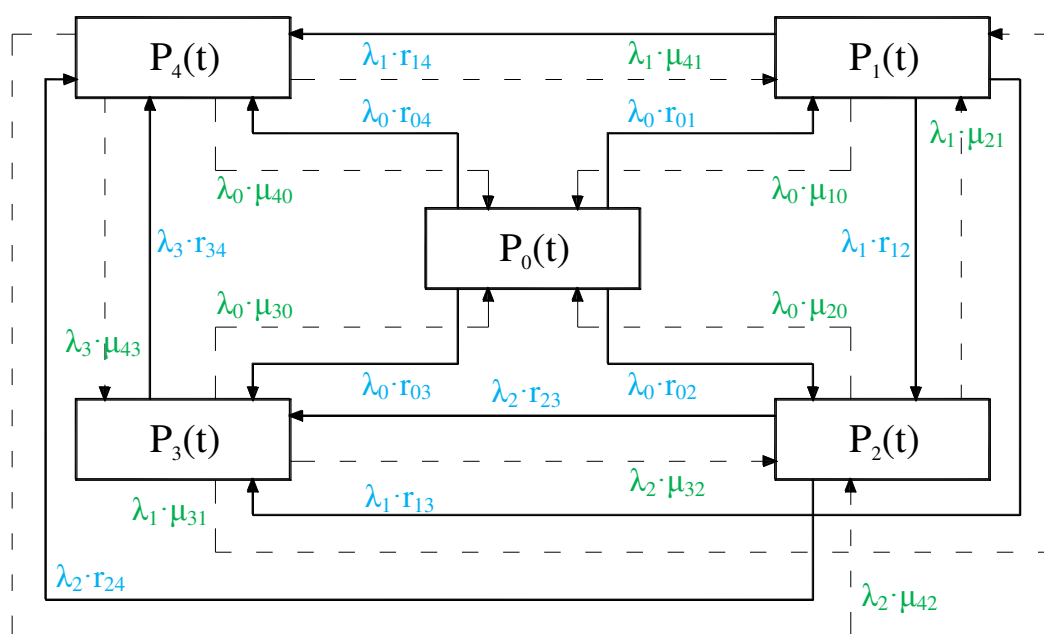


Рис. 3. Граф состояний СЭС АП

В качестве возможных состояний СЭС АП принимаются:

– производство полётов в ожидаемых условиях – состояние $P_0(t)$;

- усложнение условий производства полётов – состояние $P_1(t)$;
- сложная ситуация – состояние $P_2(t)$;
- аварийная ситуация – состояние $P_3(t)$;
- катастрофическая ситуация – состояние $P_4(t)$.

Количественные параметры однородного марковского процесса для принятых состояний СЭС АП определяются при помощи системы дифференциальных уравнений Колмогорова [Вентцель, 2000, с. 364]:

$$\left\{ \begin{array}{l} -(\lambda_0 \cdot r_{01} + \lambda_0 \cdot r_{02} + \lambda_0 \cdot r_{03} + \lambda_0 \cdot r_{04}) \cdot P_0(t) + \lambda_0 \cdot \mu_{10} \cdot P_1(t) + \lambda_0 \cdot \mu_{20} \cdot P_2(t) + \\ + \lambda_0 \cdot \mu_{30} \cdot P_3(t) + \lambda_0 \cdot \mu_{40} \cdot P_4(t) = P_0'(t); \\ \lambda_0 \cdot r_{01} \cdot P_0(t) - (\mu_{10} + \lambda_1 \cdot r_{12} + \lambda_1 \cdot r_{13} + \lambda_1 \cdot r_{14}) \cdot P_1(t) + \lambda_1 \cdot \mu_{21} \cdot P_2(t) + \\ + \lambda_1 \cdot \mu_{31} \cdot P_3(t) + \lambda_1 \cdot \mu_{41} \cdot P_4(t) = P_1'(t); \\ \lambda_0 \cdot r_{02} \cdot P_0(t) + \lambda_1 \cdot r_{12} \cdot P_1(t) - (\lambda_0 \cdot \mu_{20} + \lambda_1 \cdot \mu_{21} + \lambda_2 \cdot r_{23} + \lambda_2 \cdot r_{24}) \cdot P_2(t) + \\ + \lambda_2 \cdot \mu_{32} \cdot P_3(t) + \lambda_2 \cdot \mu_{42} \cdot P_4(t) = P_2'(t); \\ \lambda_0 \cdot r_{03} \cdot P_0(t) + \lambda_1 \cdot r_{13} \cdot P_1(t) + \lambda_2 \cdot r_{23} \cdot P_2(t) - \\ - (\lambda_0 \cdot \mu_{30} + \lambda_1 \cdot \mu_{31} + \lambda_2 \cdot \mu_{32} + \lambda_3 \cdot r_{34}) \cdot P_3(t) + \lambda_3 \cdot \mu_{43} \cdot P_4(t) = P_3'(t); \\ \lambda_0 \cdot r_{04} \cdot P_0(t) + \lambda_1 \cdot r_{14} \cdot P_1(t) + \lambda_2 \cdot r_{24} \cdot P_2(t) + \lambda_3 \cdot r_{34} \cdot P_3(t) - \\ - (\lambda_0 \cdot \mu_{40} + \lambda_1 \cdot \mu_{41} + \lambda_2 \cdot \mu_{42} + \lambda_3 \cdot \mu_{43}) \cdot P_4(t) = P_4'(t). \end{array} \right. \quad (1)$$

Состояние ОУЭ ($P_0(t)$) при анализе функционирования СЭС АП принимается в начальных условиях за безусловную вероятность:

$$P_0(t) = 1, P_1(t) = P_2(t) = P_3(t) = P_4(t) = 0; \quad (2)$$

В любой момент времени, кроме начального ($t_i \neq t_0$) СЭС АП может находиться в каждом из пяти состояний, а вероятность данного случайного процесса определяется величинами $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, $P_4(t)$, которые представлены в соответствующих вершинах графа состояний (см. рис. 3).

Возможные пути перехода системы из одного состояния в другие указываются направленными стрелками, а количественные значения вероятности перехода оцениваются значениями для перехода в состояния более высокого ранга («размножение»):

$$\lambda_i \cdot r_{ij}; \quad (3)$$

где: $i > j$.

Количественные значения вероятности для перехода системы в состояния менее высокого ранга («гибель») оцениваются значениями, вида:

$$\lambda_i \cdot \mu_{ji}; \quad (4)$$

где: $j > i$.

λ_i – интенсивность вероятности перехода между состояниями системы:

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t}. \quad (5)$$

Принятые для анализа СЭС АП состояния $P_0(t) - P_4(t)$ и их количественные значения имеют корреляционную зависимость с признаками ОС АТС, которые характеризуют УБП в АТС, связанной с конкретным аэропортом. При помощи графа состояний формируется устойчивая связь между основным (ВС, экипаж ВС) и структурным элементом АТС (в формате СЭС АП), необходимая для анализа результатов влияния структурных элементов СЭС АП на УБП.

Таким образом, граф состояний представляет совокупность структурных элементов СЭС АП, как системы, которая реагирует на проявление АФ (группы АФ) и позволяет производить экспертизу УБП в любом из принятых к рассмотрению состояний [Марасанов, 2015, с. 45].

Библиографический список

1. Белов П. Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. М.: Безопасность. 1996. 427 с.
2. Блохин В. И. Аэропорты и воздушные трассы / В. И. Блохин, И. А. Белинский. М.: Транспорт. 1984. 160 с.
3. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и её инженерное приложение / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. М.: Высшая школа. 2000. 383 с.
4. Крохин З. Т. Инженерно-организационные основы обеспечения безопасности полётов в гражданской авиации / З. Т. Крохин, Ф. И. Скрипник, В. З. Шестаков. М.: Транспорт. 1987. 175 с.
5. Марасанов П. О. Оценка надёжности системы электроснабжения аэропорта гражданской авиации // Научный Вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. №: 213 (3) С. 43–49.

6. Прокофьев А. И. Надёжность и безопасность полётов. М.: Машиностроение. 1985. 184 с.
7. Системный анализ и структуры управления / Под ред. В. Г. Шорина. М.: Знание, 1975. 304 с.
8. Convention of international civil aviation. ICAO. Chicago. 1944 г. // [Электронный ресурс]. URL <http://www.icao.int/publications/pages/doc7300.aspx> (дата обращения: 10.11.2015).
9. Doc 7300/9 – Конвенция о международной гражданской авиации. Международная Организация Гражданской Авиации. 9-е изд., изд. ICAO // [Электронный ресурс]. – 2006. URL: http://www.aviadocs.net/icaodocs/Docs/7300_cons.pdf (дата обращения: 10.11.2015).
10. Doc 9422 – Руководство по предотвращению авиационных происшествий. Международная Организация Гражданской Авиации. – 1-е изд., изд. ICAO // [Электронный ресурс]. – 1984. URL: http://www.aviadocs.net/icaodocs/Docs/ICAO_Doc9422_84.pdf (дата обращения: 10.11.2015).