

## ОЦЕНКА РИСКОВ ПРОЯВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАГРУЗОК НА СООРУЖЕНИЯ ПРИ ПАДЕНИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

*В работе рассматриваются вопросы математического моделирования результатов проявления аварийных факторов на борту летательного аппарата. Методика оценки рисков позволяет сформировать четкое представление о последствиях аварийных процессов и провести их численный анализ.*

При проектировании строительных конструкций объектов, характеризующихся повышенной социальной опасностью нормативные документы [1] рекомендуют принимать во внимание динамические воздействия весьма редкой повторяемости, отличающиеся, как правило, большой интенсивностью и подразделяющиеся на группы:

- воздействия, связанные с эксплуатацией самих объектов;
- воздействия, связанные с деятельностью человека за пределами ответственного объекта;
- воздействия, связанные со стихийными явлениями;

Необходимость учета в проекте особых воздействий оценивается на основе анализа расположения потенциальных источников опасности и/или частоты возможных опасных событий.

С учетом назначения и характера элементов, составляющих ответственный объект, к ним могут предъявляться самые различные технические, экономические и другие требования (работоспособность, прочность, герметичность и т.п.), которые определяют масштабы инженерного риска, т.е. требуемый уровень прочности и надежности. Это в равной степени относится и к принятию проектных решений, и к оценке рисков функционирования эксплуатируемых объектов.

Для оценки надежности сложных инженерных сооружений, конструкций, оборудования применяются в основном расчетно-теоретические методы, использующие статистические данные о параметрах воздействий, свойствах материалов, характере отказов различной степени тяжести. Таким образом, объединение методов расчета сооружений и оснований с методами теории вероятностей составляет основу теории надежности ответственных объектов.

Расчеты строительных конструкций на надежность долгое время не имели единого общепринятого содержания, нередко под этим подразумевались обычные расчеты на прочность, устойчивость и т.п.

Традиционная (детерминистическая по форме) схема, положенная в основу нормативных расчетов, базируется на основе системы коэффициентов, в той или иной мере учитывающих случайные и неопределенные факторы (вариабельность нагрузок, деформационных и прочностных характеристик материала, условность расчетных схем, степень ответственности сооружения и т.п.). При таком подходе общее условие непревышения предельного состояния (по прочности, устойчивости и т.п.) может быть записано в виде:

$$F(\gamma_f F_n, \frac{R_p}{\gamma_m}, \gamma_n, \gamma_a, \gamma_d) \geq 0,$$

где:

$\gamma_f, \gamma_m, \gamma_n, \gamma_d$  - коэффициенты надежности по нагрузке, материалу, назначению конструкции, условиям работы;

$F_n$  - нагрузка,  $R_p$  - прочность материала.

Кроме того, при действии на конструкцию нескольких нагрузок вводятся коэффициенты сочетаний нагрузок (меньше 1,0), учитывающие уменьшение вероятности одновременного проявления нескольких нагрузок.

Альтернативной является схема теории надежности, рассматривающая нагрузки, деформационные и прочностные характеристики материала и т.п., как случайные величины (процессы, поля) и позволяющая методами теории вероятностей определить надежность строительных конструкций, т.е. вероятность того, что заданные параметры системы (напряжения, смещения, углы поворотов и т.п.) не выйдут за некоторые предельные значения или вероятность того, что не наступит предельное состояние[3].

В основе оценки надежности функционирования строительных конструкций и оборудования ответственных объектов лежит понятие вероятности события. На вопрос о том, как мала должна быть вероятность события, чтобы практически его можно было считать невозможным, нельзя дать общего ответа, потому что все зависит от того, насколько важно событие, о котором идет речь.

При рассмотрении в качестве события падение воздушного судна можно отметить, что вероятность данного события весьма мала, а возникающие при этом нагрузки на строительные конструкции и оборудование ответственных объектов чрезвычайно большие и для их восприятия может потребоваться проведение значительных мероприятий, приводящих к заметному удорожанию объекта.

В целом ряде случаев из инженерной практики приходится решать задачу определения вероятности отказа имеющейся конструкции сооружения. При этом подразумевается наличие информации о конструктивных особенностях рассматриваемой конструкции, а также здания или сооружения, в состав которого оно входит. Кроме того, в качестве исходной информации представляются данные о воздушной обстановке в районе расположения объекта, ожидаемых условиях эксплуатации летательного аппарата (ЛА), а также технического состояния функциональных систем ЛА и уровне квалификации его персонала.

Вероятность падения ЛА в районе рассматриваемого объекта оценивается значением вероятности нахождения в «катастрофической ситуации», для определения которой используется граф переходных состояний и система дифференциальных уравнений, описывающих вероятность перехода. Исходной информацией для проведения анализа являются количественные значения переходных коэффициентов, которые принимаются на основе статистических данных об авиационных инцидентах (таблица 1).

Таблица 1

Ранг особой ситуации	Количество отказов основных компонентов авиатранспортной системы				Сумма отказов по рангам ОС
	Воздушное судно	Экипаж	Окружающая среда	УВД	
Усложнение усл.	20	32	5	0	57
Сложная ситуация	18	10	2	0	30
Аварийная ситуация	16	14	10	3	43
Катастроф. ситуация	1	2	2	1	6
Сумма отказов по компонентам АТС	55	58	19	4	136

Для проведения математического моделирования аварийных процессов на борту ЛА при проявлении аварийных фактора (АФ) используются модели нефизического характера, позволяющие при минимальных затратах и без какого-либо риска смоделировать возможную степень опасности различных АФ (групп АФ). Концепция построения моделей нефизического характера включает в себя понятия моделирования деревьев событий и деревьев отказов[4].

Деревья событий (ДС) позволяют аналитически моделировать развитие аварийного процесса, определять характеристики взаимодействия элементов модели и получать простое представление полученных результатов.

Деревья отказов (ДО) представляют собой дедуктивные логические модели. При дедуктивном подходе предполагается, что элементы модели отказали определенным образом и исследуются сценарии развития аварийных последовательностей, которые привели к отказу. ДО должны отражать все предполагаемые виды отказов, включая отказы функциональных систем, ошибки персонала, зависимые отказы. Для обоснования принятия к рассмотрению конкретного типа отказа требуется проведение тщательного анализа по данной системе, квалификации персонала и по другим необходимым данным. Глубина построения ДО определяется существующей базой данных по рассматриваемой проблеме.

Вероятности отказов элементов модели, вычисленные в ДО, могут быть использованы, как входные данные в ДС для оценки вероятности последствий проявления АФ.

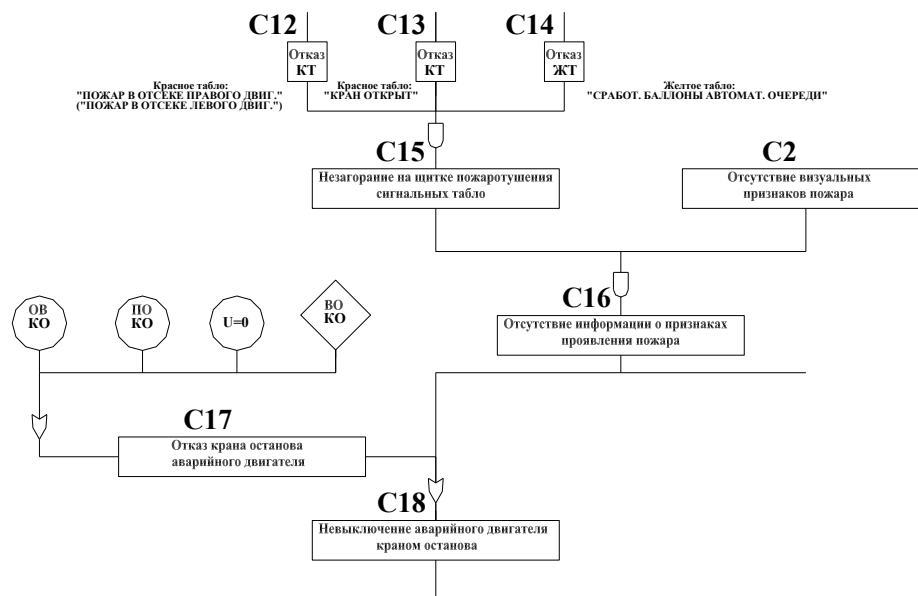


Рис.1. Фрагмент дерева отказов

На рис.1 представлен фрагмент дерева отказов, составленного для анализа аварийной карты «ПОЖАР В ОТСЕКАХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПОЛЕТЕ» для вертолета Ми-8 [2], на котором представлена логическая последовательность отказов технических систем и ошибочных действий экипажа ЛА по парированию аварийного процесса.

Значения интенсивностей отказов элементов принимаются на основании:

- экспертных оценок;
- статистических показателей;
- результатов выборочных тестовых испытаний;
- директивно назначенным значениям;
- по результатам аналитического и численного моделирования.

Значение интенсивностей отказа для параметров типа «ошибочные включения/выключения агрегатов и систем» принимаются в диапазоне значений, начиная от самого благоприятного варианта действий экипажа (как при выполнении рутинной работы в штатной обстановке), и заканчивая среднестатистическими значениями действий экипажа ЛА в состоянии стресса.

Результатом вероятностного расчета является итеративное распределение вероятности пребывания ЛА для заданных исходных данных и шаге приращения по времени, который может иметь неравномерную плотность (таблица 2).

Таблица 2

Шаг	Распределение вероятностей				
	$P_0(t)$	$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$	$P_4(t)$
1	9.98860959e-001	4.77178282e-004	2.51721914e-004	3.62219550e-004	4.78963359e-005
2	9.97723835e-001	9.53395107e-004	5.03008881e-004	7.23840263e-004	9.58215861e-005
3	9.96588624e-001	1.42865208e-003	7.53861377e-004	1.08486260e-003	1.43776911e-004
4	9.95455322e-001	1.90295105e-003	1.00428012e-003	1.44528750e-003	1.91762237e-004
5	9.94323927e-001	2.37629386e-003	1.25426584e-003	1.80511590e-003	2.39777486e-004
6	9.93194435e-001	2.84868235e-003	1.50381925e-003	2.16434873e-003	2.87822586e-004
7	9.92630402e-001	3.08451937e-003	1.62843413e-003	2.34374222e-003	3.11855997e-004
8	9.92348563e-001	3.20234864e-003	1.69070112e-003	2.43338322e-003	3.23875568e-004
9	9.92221775e-001	3.27991535e-003	1.74049818e-003	9.99966301e-001	3.44851715e-004
10	9.92095015e-001	3.35746261e-003	1.79028247e-003	9.99932606e-001	3.65827446e-004
11	9.91968283e-001	3.43499040e-003	1.84005401e-003	9.99898917e-001	3.86802777e-004
12	9.91841579e-001	3.51249874e-003	1.88981279e-003	9.99865232e-001	4.07777110e-004
13	9.91714904e-001	3.58998762e-003	1.93955882e-003	9.99831553e-001	4.28752242e-004
14	9.91588256e-001	3.66745706e-003	1.98929210e-003	9.99797878e-001	4.49726376e-004

Распределение вероятности пребывания в состоянии  $P_4(t)$ , соответствующего катастрофической ситуации представлено на рис.2.

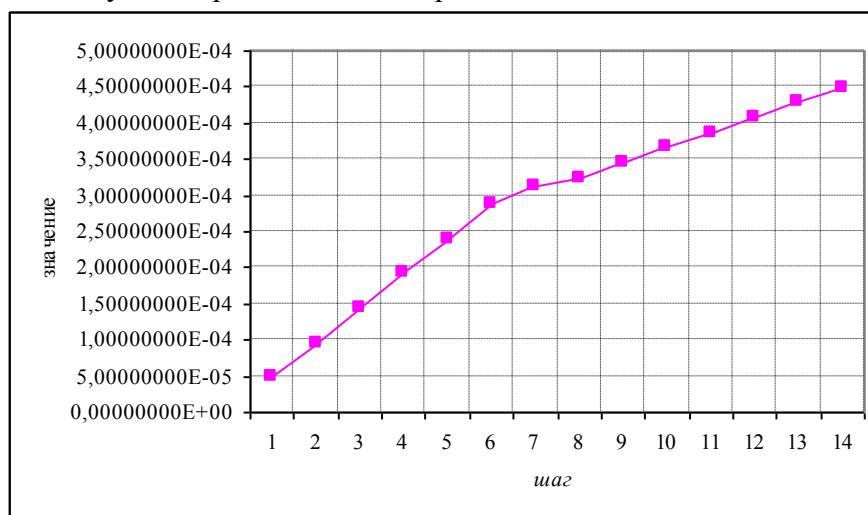


Рис.2. Распределение вероятности пребывания в состоянии  $P_4(t)$

### Список литературы

1. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. Правила и нормы в атомной энергетике. ПИН АЭ - 5.6: Изд. Минатомэнерго СССР. 1986. 21с.
2. РУКОВОДСТВО ПО ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ вертолета Ми-8. М., 1980. 380с.
3. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. –М.: Стройиздат, 1986. –368с.

4. *D.L.Kelly, T.J.Leahy* Probabilistic Risk Assessment: Applications for Nuclear Reactor Inspection. Idaho National Engineering Laboratory Idaho Falls, ID 1992.

