

**О методах обеспечения живучести
технических систем**

О.О. Павловская

Рассмотрены различные подходы к обеспечению живучести технических систем. Описаны способы реализации защитного управления, направленного на снижение опасности эксплуатации системы под влиянием возмущений. Приведена формализация задачи синтеза комплексных систем обеспечения безопасности.

Ключевые слова: технические системы; живучесть; защитное управление; комплексная система безопасности; формализация задачи синтеза.

В ходе технического прогресса такие технические системы, как летательные аппараты, корабли, транспортные машины, становятся все более совершенными и энергонасыщенными, решают все более сложные задачи. Учитывая, что эти системы во время функционирования подвергаются действию внешней среды, непреднамеренно и преднамеренно стремящейся помешать реализации основных функций, особенно актуальны задачи обеспечения живучести таких систем [3].

Живучесть технической системы в широком смысле – ее способность выполнять свои функции с требуемым качеством в условиях преднамеренного воздействия средств поражения или чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

В более узком смысле под живучестью системы понимают ее способность адаптироваться к условиям функционирования (временно или постоянно отказываясь от выполнения менее важных функций, выполняя новые функции) при безусловной реализации основной функции.

Эволюция систем обуславливает эволюцию их механизмов обеспечения живучести.

В первую очередь живучесть систем обеспечивается технически за счет совершенствования ее конструкции (применения высокопрочных конструкций и материалов, резервирования, защиты от поражения и радиоэлектронного подавления, радиоэлектронной защиты) и организационно, в том числе за счет повышения уровня натренированности субъекта управления. Все эти мероприятия имеют профилактическую направленность, воздействуя на уровень живучести через снижение возможности проявления различных неблагоприятных факторов.

Недостаточная результативность только профилактических подходов к обеспечению живучести обусловило реализацию управленческо-ситуационных подходов, направленных на реализацию защитных реакций системы на опасные изменения условий эксплуатации.

И профилактические, и управленческо-ситуационные подходы существуют вместе (профилактика – необходимое, а защитное управление – достаточное условие обеспечения безопасности эксплуатации системы) [1].

Интегральным показателем выживаемости (живучести) технической системы является средняя наработка на отказ данного вида систем в заданных условиях. Интегральность показателя в том, что он характеризует приспособленность системы к решению двух противоречивых задач:

- 1) выполнение целевых задач;
- 2) самосохранение системы (противодействие внутренним и внешним носителям опасности).

Теперь о способах реализации защитного управления.

Самый простой подход – оснащение технической системы (например, ЛА) бортовой системой безопасности (СБ), принцип работы которой показан на рис. 1 [2].

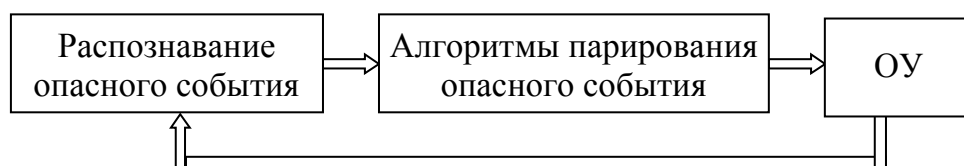


Рис. 1. Принцип работы бортовой СБ

В такой СБ на основе информации о параметрах состояния системы (на рис. обозначена ОУ) осуществляется распознавание типовых опасных событий (признаков); при распознавании таких событий включаются заранее подготовленные алгоритмы управления, а человек-оператор из контура управления выключается; по завершению работы алгоритма управление возвращается человеку-оператору.

Следующая ступень развития систем безопасности – так называемые комплексные системы безопасности (КСБ), принцип работы которых показан на рис. 2.

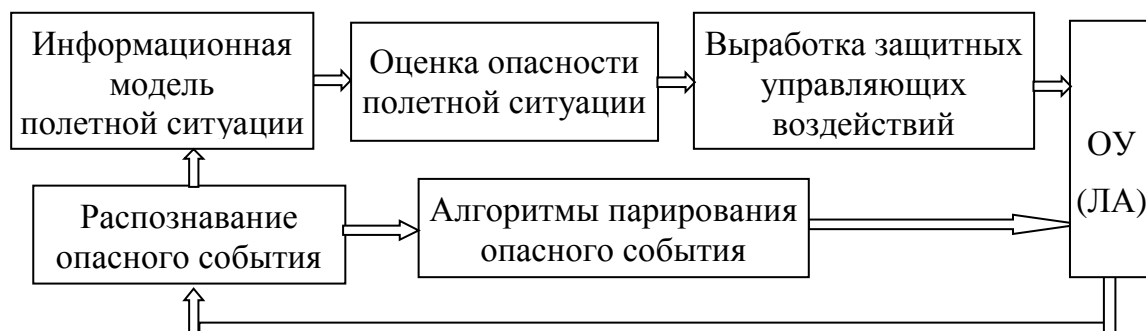


Рис. 2. Принцип работы комплексной СБ

В отличие от простых СБ (см. рис.1) здесь есть контур выработки защитных управляющих сигналов (контур управления по опасности). В этом контуре выполняется три операции:

1) получение информационной модели полетной ситуации, где $M_{тс}$ – модель функционирования технической системы, $M_{ц}$ – модель цели управления, $M_{вс}$ – модель внешней среды, $M_{но}$ – модель носителей опасности (отказы техники, потеря работоспособности человеком-оператором, выход системы за ограничения по параметрам движения, воздействие метеоявлений, воздействие средств противника);

2) определение опасности текущей ситуации Q_c ;

3) выбор наименее опасного способа достижения цели (принципы выбора могут быть разные: параметрический, событийный ситуационный, многоцелевой, многозадачный).

Выработка и реализация защитных управляющих воздействий может осуществляться как автономно КСБ, так и человеком-оператором совместно с КСБ (КСБ просто подсказывает наименее опасный способ достижения цели).

Поскольку цель КСБ – управление по опасности с минимизацией вероятности гибели эргатической системы, то формализация задачи синтеза КСБ будет выглядеть так: при известных характеристиках исходной эргатической системы сформировать такой вариант КСБ, который обеспечит минимум вероятности гибели системы при выполнении заданной совокупности типовых заданий, т.е.

$$B_{КСБ}(X^*) = \min(P_{гi}(X_j)), i = 1...n, j = 1...m,$$

где $B_{КСБ}(X^*)$ – наилучший при заданных ограничениях X^* вариант КСБ; $P_{гi}$ – вероятность гибели системы (опасность) при выполнении i -го типового задания; X_j – множество характеристик КСБ.

Ограничения X^* выглядят так

$$\begin{cases} P_i \geq P_{zi}, \\ C \leq C_{\max}, \\ X_{j\min} \leq X_j \leq X_{j\max}, \end{cases}$$

где P_i и P_{zi} – соответственно фактические и заданные (требуемые) значения средней вероятности выполнения типового задания; C и C_{\max} – фактическая и предельно-допустимая стоимости КСБ.

Дополнительное ограничение с операцией выбора наименее опасного способа достижения цели

$$x \in S, y \in S, z \in S,$$

т.е. координаты технической системы (x, y, z) должны принадлежать допустимой области решения задачи S .

Итак, управление по опасности, совмещенное с целевым управлением – один из видов оптимального управления, где критерий оптимизации – минимизация опасности достижения цели. Последняя количественно определяется по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^N \lambda_i Q_i,$$

где N – множество возможных способов достижения цели (СДЦ) (характеризует жизнеспособность системы); Q_i – вероятность гибели системы при реализации i -го СДЦ (характеризует одновременно опасность внешней и внутренней среды и жизнестойкость); λ_i – вероятность выбора системой i -го СДЦ (характеризует уровень качества управления (способность системы осуществлять выбор и реализацию наилучших СДЦ)).

Для практических целей формула принимает вид

$$Q = 1 - P_r.$$

Основная сложность при синтезе КСБ – определение опасности ситуации, которую необходимо постоянно оценивать в процессе функционирования системы и в случаях повышения (или не уменьшения) ее уровня срочно принимать защитные меры.

Дальнейшее развитие КСБ связано с созданием интеллектуальных КСБ, которые способны прогнозировать развитие ситуации, активно препятствовать попаданию системы в особые ситуации, помогающих выполнить поставленную задачу наиболее безопасным способом.

Библиографический список

1. Анцелиович, Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолёта / Л.Л. Анцелиович – М: Машиностроение, 1985. – 296 с.
2. Жмеренецкий, В.Ф. Активное обеспечение безопасности полета летательного аппарата: Методология, модели, алгоритмы. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 320 с.
3. Кирилин, А. Н. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных КА зондирования Земли / А.Н. Кирилин, Р.Н. Ахметов, А.В. Соллогуб, В.П. Макаров – М.: Машиностроение, 2010. – 384 с.

About methods of ensuring survivability technical systems

O. O. Pavlovskaya

Various approaches to ensuring survivability of technical systems are considered. Ways of realization of the protective control directed on decrease in danger of operation of system under the influence of indignations are described.

Formalization of a problem of synthesis of complex systems safety is given.

Keywords: technical systems; survivability; protective management; complex security system; formalization of a problem of synthesis.

References

1. Antseliovich L.L. *Nadezhnost', bezopasnost' i zhivuchest' samoleta* [Reliability, Safety and Survivability of Plane]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 1985, 296 p.
2. Zhmerenetskiy V. F. *Aktivnoe obespechenie bezopasnosti poleta letatel'nogo apparata: Metodologiya, modeli, algoritmy* [Active Safety of Flight of the Aircraft: Methodology, Models, Algorithms]. Moscow, LENAND Publ., 2014, 320 p.
3. A.N. Kirilin, R. N. Akhmetov, A.V. Sollogub, V.P. Makarov *Metody obespecheniya zhivuchesti nizkoorbital'nykh kosmicheskikh apparatov zondirovaniya Zemli* [Methods of Ensuring Survivability of Low-orbital CA of Sounding of Earth]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 2010, 384 p.