

Литература

1. Борисова Л.Р., Подрезов Ю.В., Анисимов А.А. Анализ изменения статистических факторов возникновения лесных пожаров в Российской Федерации. //Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – М. – 2019, № 6. – 33-38.
2. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml>.
3. http://rosleshoz.gov.ru/information_systems.
4. fireman.club/literature/.

Сведения об авторах

Борисова Людмила Робертовна, доцент департамента анализа данных, принятия решений и финансовых технологий Финансового университета при Правительстве РФ; доцент кафедры «Высоких технологий в обеспечении безопасности жизнедеятельности» МФТИ (ГУ). Тел. 8-916-245-71-27 E-mail: borisovalr@mail.ru

Подрезов Юрий Викторович, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ); заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). Тел.: 8-903-573-44-84

Гурьев Яков Сергеевич, студент 4 курса Московского физико-технического института (государственного университета).: Тел.:8-985-988-79-79, e-mail: gurev.yas@phystech.edu

УДК 623.094

DOI: 10.36535/0869-4176-2020-06-4

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ: МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Доктор техн. наук **Р.А. Дурнев**, **А.С. Гусева**, кандидат техн. наук **Е.В. Свиридок**
ФГБУ РАРАН

И.В. Жданенко
ФГБУВНИИГОЧС (ФЦ)

В первой статье данной серии рассмотрены методические основы оценки живучести беспилотных летательных аппаратов при воздействии поражающих факторов источников чрезвычайных ситуаций. Приведена вербальная модель сохранения живучести, описан логико-вероятностный метод оценки рассматриваемого свойства. В последующих статьях будут рассмотрены предложения по адаптации и усовершенствованию данного метода применительно к решаемой задаче оценке живучести беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, чрезвычайная ситуация, источник ЧС, поражающие факторы источника ЧС, живучесть, логико-вероятностный метод.

ASSESSMENT OF THE SURVIVABILITY OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN EMERGENCY SITUATIONS: METHODOLOGICAL FOUNDATIONS

Dr. (Tech.) *R.A. Durnev*, *A.S. Guseva*, Ph.D. (Tech.) *E.V. Sviridok*
FGBU RARAN

I.V. Zhdanenko
FC VNI GOCHS EMERCOM of Russia

The first article in this series discusses the methodological basis for assessing the survivability of unmanned aerial vehicles under the influence of damaging factors of emergency sources. A verbal model of survivability conservation is presented, and a logical-probabilistic method for evaluating the property under consideration is described. In subsequent articles, we will consider suggestions for adapting and improving this method in relation to the problem of assessing the survivability of unmanned aerial vehicles.

Keywords: unmanned aerial vehicle, emergency situation, emergency source, damaging factors of the emergency source, survivability, logical-probabilistic method.

В настоящее время в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера активно применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), с использованием которых проводится мониторинг территории, разведка зоны ЧС, ретрансляция информации и сигналов оповещения и т.п. Применение БПЛА осуществляется в условиях воздействия поражающих факторов (ПФ) источников ЧС. Так, при авариях на взрывоопасных объектах наблюдается воздействие барических и термических ПФ, таких как скоростной напор, избыточное давление во фронте ударной волны, механическое воздействие обломков, температурное воздействие и др. В условиях аварий на химически опасных объектах данные факторы будут связаны с агрессивным (разъедающим, окисляющим, склеивающим и т.п.) воздействием облаков аварийно химически опасных веществ на корпус, движущиеся элементы БПЛА. Ионизирующее излучение, возникающее при радиационных авариях, будет воздействовать на объекты микроэлектроники, в большом количестве находящиеся в отдельных элементах, узлах и агрегатах БПЛА и т.п.

В этих условиях возникает актуальная задача оценки степени влияния ПФ источников ЧС различной интенсивности на отдельные элементы и БПЛА в целом. Для этого требуется использовать понятие живучести, под которой понимается свойство сохранять работоспособность при случайных отказах элементов вследствие воздействия ПФ (см. [1]). Вербальная модель живучести БПЛА (по материалам [2]) может иметь следующий вид:

в результате воздействия поражающих факторов источников ЧС на БПЛА возникают первичные последствия, выражающиеся в нарушении работоспособности элементов или функциональных связей, в искажении алгоритмов функционирования;

при сохранении работоспособного состояния за счет высокой стойкости отдельных элементов и подсистем БПЛА, дублирования, резервирования и других способов обеспечения структурной избыточности, данный образец возвращается к выполнению задания немедленно. Если состояние неработоспособное, то он может вернуться к выполнению задания после процедур борьбы за живучесть, связанных с применением внутренних средств контроля работоспособности, аварийной защиты БПЛА, а также путем внешнего материального, энергетического и информационного воздействия на него;

при дальнейшем функционировании до выполнения установленного задания могут проявляться вторичные последствия ПФ, связанные с неуправляемыми или плохо управ-

ляемыми тепловыми, электрическими и другими процессами. Скорость развития вторичных последствий и конечный результат существенно зависят от эффективности борьбы за живучесть;

в этой связи в процессе борьбы за живучесть можно выделить два этапа: на первом этапе идет борьба за сохранение работоспособности БПЛА, на втором этапе - борьба за успешное выполнение задания, несмотря на первичные и вторичные последствия ПФ источников ЧС.

ПФ источников ЧС характеризуются, в том числе, интенсивностью и продолжительностью действия. Количественная оценка интенсивности целесообразна в том случае, если она сравнима или меньше предельной интенсивности, которую могут выдержать элементы БПЛА. Если же она всегда больше, то можно условно считать интенсивность бесконечно большой. По продолжительности действия ПФ можно подразделить на импульсные (с практически нулевой продолжительностью действия) и с конечной продолжительностью действия.

В целом живучесть БПЛА зависит не только от живучести элементов, но и от взаимного расположения этих элементов с учетом их материальных, информационных и энергетических связей. Т.е. топология образца (пространственное расположение, объемные и другие характеристики деталей, узлов и агрегатов БПЛА) влияет на его живучесть. Это связано с тем, что ПФ источников ЧС имеют пространственные характеристики интенсивности, и поэтому степень воздействия будет зависеть от того, какие размеры у элементов и как они расположены в пространстве.

Понятие живучести достаточно близко к надежности, как свойству сохранять работоспособность при случайных отказах элементов и их восстановлениях на интервале времени функционирования в нормальных (заданных) условиях эксплуатации [3]. Поэтому большинство методов оценки живучести в той или иной степени используют аппарат теории надежности. В настоящее время существует значительное количество методов оценки надежности, большинство из которых можно подразделить на параметрические и непараметрические. В параметрических исследуются зависимость надежности системы от потери некоторых физико-механических свойств элементов (например, износостойкости). Непараметрические методы основываются на теориях вероятности, математической статистики, случайных процессов, массового обслуживания, графов и других и оперируют такими статистическими величинами, как интенсивности отказов, восстановлений и т.п. Однако, несмотря на развитость теории надежности, большинство её методов не позволяет оценивать надежность или живучесть структурно-сложных систем [3]. Данные системы характеризуются множеством состояний и режимов работы, развитостью структурной организации, способностью функционировать в разных состояниях с различной эффективностью. Для таких систем с успехом может использоваться логико-вероятный метод (ЛВМ) оценки надежности и живучести структурно-сложных систем [3], к которым, конечно же, относятся БПЛА.

ЛВМ основывается на алгебре логики (булевой математике) и теории вероятности и включает следующие этапы применения:

- построение функциональной схемы объекта (образца ВВСТ);
- построение его структурно-логической схемы;
- построение логической модели;
- построение расчетной математической модели;
- выполнение расчетов, оценка вклада элементов.

Так как сами расчеты являются достаточно трудоемким, поэтому разработано специальное программное обеспечение (СПО), автоматизирующее большинство расчетных процедур [3]. В данном СПО используются следующие графические элементы. Во-первых, функциональные вершины, которые представляют один из двух возможных ис-

ходов простого (бинарного) случайного события, сопоставленного элементу исследуемой системы (работоспособность или отказ, не поражение или поражение, случилось или не случилось и т.п.) и изображаются как:

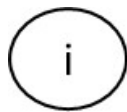


Рис. 1. Обозначение функциональной вершины для i-того элемента

Во-вторых, дизъюнктивные дуги, которые изображаются как линии со стрелками, с которыми связываются отдельные вершины. Стрелка на конце дизъюнктивной дуги представляет:

направленность функционального подчинения между связанными этой дугой вершинами;

логический оператор «ИЛИ» между множеством заходящих в одну вершину дизъюнктивных дуг.

Примеры изображения дизъюнктивных дуг и соответствующего логического уравнения приведены на рис. 2.

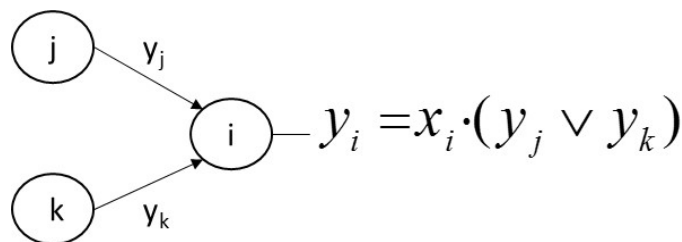


Рис. 2. Обозначения дизъюнктивных дуг и соответствующего логического уравнения

В третьих, фиктивные вершины, которые в отличие от функциональных не представляют элементов моделируемой системы, а служат только для графического представления сложных логических связей и отношений между различными функциями элементов (подсистем) (рис. 3).

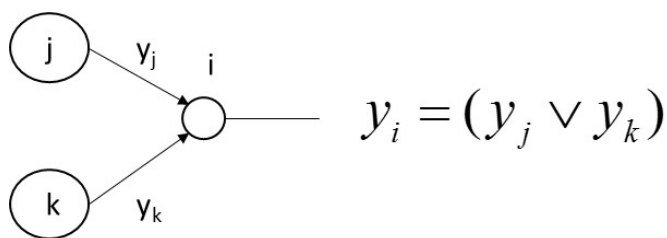


Рис. 3. Обозначение фиктивной вершины для i-того элемента с соответствующим логическим уравнением

В четвертых, конъюнктивные дуги, представляющие собой линии с точками, связывающими отдельные вершины. Точка на конце конъюнктивной дуги представляет:

направленность функционального подчинения между связанными этой дугой вершинами;

логический оператор «И» между множеством заходящих в одну вершину конъюнктивных дуг.

Примеры изображения конъюнктивных дуг и соответствующего логического уравнения приведены на рис. 4.

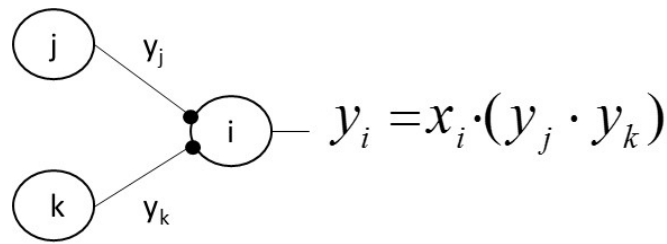


Рис. 4. Обозначения конъюнктивных дуг и соответствующего логического уравнения

И, наконец, прямые и инверсные (обратные) выходы дуг из вершин. Изображение и логические уравнения прямого и инверсного (обратного) выходов дуг из вершин приведено на рис. 5.

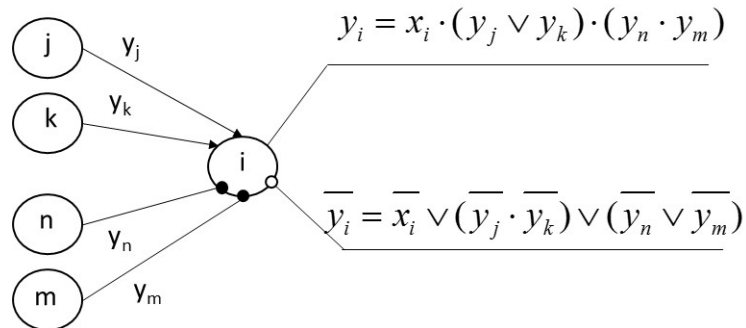


Рис. 5. Обозначение и логические уравнения прямого и инверсного (обратного) выходов дуг из вершин

Более подробное описание ЛВМ приведено в работе [3], в которой даны сведения по основным расчетным схемам, алгоритму построения логической и математической модели, порядку выполнения расчетов и т.п.

Следует отметить, что, несмотря на автоматизацию основных расчетно-логических операций, данный метод все же содержит неформализованные и слабоформализованные этапы, основывающиеся на глубоких знаниях специалистов и их творческих способностях. Неформализованным является этап построения функциональных схем, потому что один и тот же объект можно представить огромным числом принципиальных схем устройства и работы. А слабоформализованным и достаточно трудоемким является этап построения структурно-логической схемы, т.к. для этого требуется понимание того, как из единичных отказов отдельных элементов происходит отказы узлов, деталей, агрегатов и системы в целом, а также скрупулезная работа по учету всех этих элементов и их связей.

Кроме того, недостаточно проработанной в ЛВМ является и процедура оценки влияния живучести элементов на эффективность применения системы различными способами, в разнообразных условиях. Хотя в основной работе по ЛВМ [3] приводятся как схемы формирования отказов технических элементов, так и схемы развития ситуаций вооруженного противостояния, но применяются они, в основном, по отдельности. В статьях данной серии предпринята попытка объединить в рамках одной расчетной схемы технические и технологические аспекты применения БПЛА. Это позволит оценить такое комплексное свойство системы, как эффективность. Особенно это важно, если учитывать, что эффективность - это не только статистический набор тактико-технических ха-

рактических образцов, являющихся компонентами "вектора качества", но и динамическая взаимосвязь между ними, а также, что крайне существенно, способы и условия его применения. Для этого и необходимо объединение технических и технологических аспектов применения БПЛА в зоне ЧС.

Таким образом, представлены методические основы оценки живучести беспилотных летательных аппаратов с использованием логико-вероятностного метода. В следующих статьях будут рассмотрены предложения по адаптации и усовершенствованию данного метода применительно к задаче оценки живучести БПЛА при воздействии поражающих факторов источников чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Литература

1. Гусева А.С., Дурнев Р.А., Жданенко И.В., Свиридок Е.В. О соотношении понятий надежности и живучести аварийно-спасательной техники. М.: Журнал "Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций", вып. 5, 2020 г.
2. Поленин В.И., Рябинин И.А., Свиринок С.К., Гладкова И.А. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства/ Под ред. А. С. Можаяева. СПб.: СПб-региональное отделение РАЕН. - 2011 г., стр. 416 с.
3. Черкесов Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. М.: Знание. - 1987 г., стр. 32.

Сведения об авторах

Дурнев Роман Александрович - академик-секретарь секретариата президиума ФГБУ "Российская академия ракетных и артиллерийских наук", доцент, член-корреспондент РАН, адрес учреждения: 107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3, контактный телефон: 8(903) 258-67-16, e-mail: rdurnev@rambler.ru

Гусева Алена Сергеевна - главный специалист отдела организации НИОКР ФГБУ "Российская академия ракетных и артиллерийских наук", адрес учреждения: 107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3, контактный телефон: 8(926) 144-67-69, e-mail: kot_alenka@mail.ru

Свиридок Екатерина Викторовна - советник секретариата Совета главных конструкторов по системе вооружения сухопутной составляющей сил общего назначения ФГБУ "Российская академия ракетных и артиллерийских наук", советник РАН, адрес учреждения: 107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3, контактный телефон: 8(903) 258-67-16, e-mail: svkate1@rambler.ru

Жданенко Ирина Васильевна, старший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий), адрес учреждения: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, дом 7, контактный телефон: 8(909) 953-56-59, e-mail: izhdanenko@yandex.ru