

УДК 004.896

СИСТЕМА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В КОНФЛИКТЕ КОМПЛЕКСОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ

Ананьев А.В., Кащенко Г.А.

*ФГКВОВ ВПО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Воронеж, e-mail: sasha303_75@mail.ru*

Рассмотрен конфликт комплексов беспилотных летательных аппаратов (БЛА) ударного назначения и противовоздушной обороны, сопровождаемый взаимными рисками. Для минимизации рисков комплекса БЛА предложена система автономного ситуационного управления рисками. Управление рисками в конфликте комплексов основывается на получении дискретных оценок риска в любой момент времени в процессе выполнения комплексом БЛА текущих боевых задач. Использование дискретных показателей риска позволяет без ограничения размерности задачи наблюдать динамику изменения рисков и эффективно управлять комплексом БЛА. Принятие решения в процессе управления основывается на данных о состоянии входного потока дискретных оценок риска БЛА, информация с которого поступает частичной потерей достоверности, поэтому для принятия ситуационных решений предложено использование аппарата нечеткой логики.

Ключевые слова: ситуационное управление, нечеткая логика, теория рисков, беспилотный летательный аппарат, групповое применение, противовоздушная оборона

SYSTEM OF SITUATIONAL MANAGEMENT BY RISKS IN THE CONFLICTING OF COMPLEXES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AND AN AIR DEFENSE

Ananiev A.V., Kaschenko G.A.

*Federal State Official Military Educational Institution of Higher Professional
Education Military Educational – Research Centre of Air Force «Air Force Academy
named after professor N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin», Voronezh, e-mail: sasha303_75@mail.ru*

The conflicting of complexes of unmanned aerial vehicles (UAV) shock assignment and an air defense, tracked by the mutual risks is considered. For risk minimization of complex UAV the system of autonomous situational management is tendered by risks. Risk management in the conflicting of complexes is based on obtaining of the discrete risk assessments at any moment in the processing of accomplishment by complex UAV of operational tasks. Usage of the discrete risk rates allows to watch without limiting of dimensionality of the task to a time history of risk and effectively to control complex UAV. The adoption of a decision in control process is grounded on status data of an input flow of the discrete risk assessments UAV the information with which one arrives the fractional loss of reliability, therefore for acceptance of situation-dependent solutions usage of the apparatus of fuzzy logic is offered.

Keywords: situational management, fuzzy logic, theory of risks, the unmanned aerial vehicle, group raid, air defense

Современные тенденции ведения боевых действий неоспоримо ведут к конфликту комплексов беспилотных летательных аппаратов (БЛА) ударного назначения (УН) [5] и противовоздушной обороны (ПВО). Наиболее характерной ситуацией может быть оборона критически важных объектов (КВО) комплексом ПВО при поражении КВО группой БЛА УН [1], что сопровождается рисками обоих комплексов [2, 3].

В этом случае в составе комплекса БЛА УН по функциональному признаку можно выделить три составляющих: команду управления (лицо, принимающее решение – ЛПР), территориально размещаемую на пункте управления (ПУ), пусковую установку, Н-БЛА УН. В общем случае может быть несколько комплексов БЛА УН.

В процессе конфликта со стороны комплекса БЛА УН возникают риски огневого воздействия на ПУ, что в ряде случаев

очень критично, особенно если ПУ совмещен с другими командными пунктами (КП), кроме того, как было сказано выше, риски несет и сама группа БЛА УН.

Решить в определенной мере проблему минимизации рисков (управления рисками) комплекса БЛА УН, в том числе рисков ПУ БЛА УН и совмещенных с ним КП, можно за счет интеллектуализации автономного группового полета БЛА УН на основе создания системы ситуационного управления рисками в конфликте комплексов беспилотных летательных аппаратов и противовоздушной обороны, что, по-видимому, в известных источниках не рассматривалось.

Целью работы является разработка системы ситуационного управления рисками конфликта комплексов ударных беспилотных летательных аппаратов и противовоздушной обороны.

Рассмотрим сущность функционирования БЛА УН с точки зрения рисков. Задачей комплекса БЛА УН является нанесение системе ПВО и защищаемым этой системой КВО максимального ущерба минимальными средствами. Эффективность решения этой задачи целесообразно оценивать величиной риска (ущерба), вычисляемого по формуле [2]

$$R = \sum_{i=1}^N P_{ai} \cdot P_{uzi} \cdot C_i, \quad (1)$$

где P_{ai} – вероятность реализации успешной атаки i -м БЛА УН, $i = 1, N$, за определенный промежуток времени T ; P_{uzi} – вероятность уязвимости (преодоления) системы ПВО i -м БЛА УН; ущербом C_i , возникающим в результате успешной атаки i -го БЛА УН на систему ПВО и КВО.

Процесс боевого применения комплекса БЛА УН условно разделяют на следующие этапы [3]: старт БЛА (набор высоты и скорости); решение задачи навигации (полет в район цели); преодоление ПВО противника; наведение БЛА на цель и выход в атаку; поражение цели; возвращение на аэродром посадки. Тогда вероятность реализации успешной атаки i -м БЛА УН можно определить по следующей формуле [3]:

$$P_{ai} = P_{cti} \cdot P_{ni} \cdot P_{ati} \cdot P_{ci} \cdot P_{vi}, \quad (2)$$

где P_{cti} – вероятность успешного выполнения старта i -м БЛА УН; P_{ni} – вероятность успешного решения задачи навигации (полет к цели) i -м БЛА УН; P_{ati} – вероятность наведения i -го БЛА УН на цель и выхода в атаку; P_{ci} – вероятность поражения цели i -м БЛА УН (выполнения боевой задачи); P_{vi} – вероятность возвращения i -го БЛА УН на аэродром посадки.

Наиболее острым моментом применения группы БЛА-снарядов является прорыв системы ПВО и огневое поражение критически важных объектов (КВО) противника, в ходе которого БЛА-снаряды будут уничтожаться различными вариантами средств ПВО. Кроме огневого воздействия сторона, обороняющаяся от нападения БЛА-снарядов, может применять средства радиоэлектронного подавления и радиоэлектронного поражения, а также вмешиваться в канал управления В ходе прорыва системы ПВО наблюдается максимум взаимных потерь.

Вероятность уязвимости системы ПВО P_{uzi} i -м БЛА УН равна вероятности преодоления системы ПВО $P_{пвоi}$ i -м БЛА УН [3].

Управление рисками в конфликте комплексов БЛА и ПВО должно основываться на получении дискретных оценок риска в любой момент времени в процессе выполнения комплексом БЛА боевых задач. Использование дискретных показателей риска позволит без ограничения размерности задачи наблюдать динамику изменения рисков комплекса БЛА в процессе выполнения боевой задачи. Наряду с этим возможность получения дискретных оценок риска комплекса БЛА в любой момент времени позволит осуществлять управление комплексом в процессе выполнения им боевой задачи.

Управление рисками в конфликте комплексов БЛА и ПВО должно зависеть от ситуации, которая складывается на потоках дискретных оценок риска в любой момент времени в процессе выполнения боевой задачи. Для управления рисками целесообразно выбрать ситуационное управление [4]. Структура процесса ситуационного управления рисками в конфликте комплексов БЛА и ПВО представлена на рис. 1.

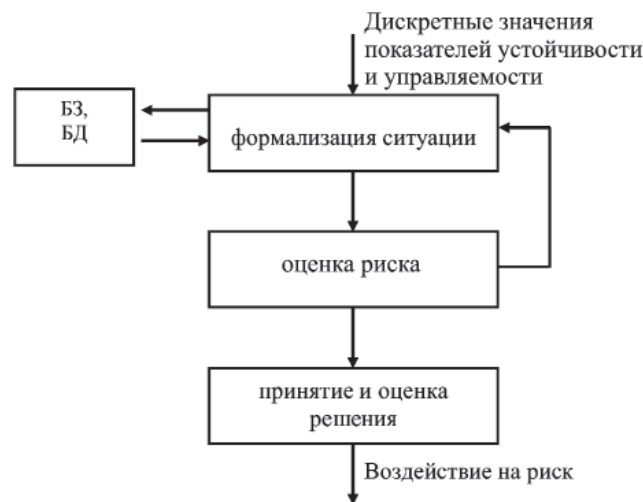


Рис. 1. Структура ситуационного управления

Для принятия решения в процессе оперативного управления необходимо иметь данные о состоянии входного потока оценок риска БЛА в определенные моменты времени. Эта информация часто поступает в виде качественных оценок. Информация с потока поступает с временной задержкой, что приводит к ее устареванию и, как следствие, частичной потере достоверности.

Таким образом, в рассматриваемом случае детерминированные методы не эффективны и не пригодны, так как при расчетах практически не принимается во внимание неопределенность и нечеткость оценок риска, которые влияют на результаты принимаемого решения.

Так как угрозы комплексу БЛА можно считать единичными событиями, и каждая из угроз может иметь индивидуальные особенности и принадлежать к разным классам угроз, то часто это обуславливает отсутствие выборки достаточного объема, которая позволила бы использовать методы теории вероятности и математической статистики для формирования управленческих решений. Поэтому для описания ситуаций, складывающихся на потоках, их оценки и формирования управления целесообразно использовать методы, основанные на теоретико-множественном подходе. Такой подход дает возможность описать функционирование потока, а управление сделать гибким и адаптивным к изменяющимся условиям функционирования потока.

Ситуация st_i на потоке событий описывается множеством лингвистических переменных.

$$st_i = \langle \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m \rangle, \quad (3)$$

где β_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – лингвистическая переменная. Лингвистическая переменная характеризуется набором:

$$\langle \beta, T(\beta), X \rangle, \quad (4)$$

где β – имя лингвистической переменной; $T(\beta)$ – терм-множество лингвистической

переменной β , которое является нечетким множеством вида

$$\langle \mu_{st_i}(y) / y \rangle, \quad (5)$$

где y – терм; $\mu_{st_i}(y)$ – функция принадлежности; X – область определения лингвистической переменной.

Например, лингвистическая переменная «риск БЛА УН» имеет термы: высокий, средний, низкий. Область определения от 0 до 1.0. Функции принадлежности будут иметь вид представленный на рис. 2.

Так как управление рисками в конфликте комплексов БЛА УН и ПВО является сложной и многофункциональной задачей, то для ее решения необходимо создание экспертной советующей системы, основанной на принципах ситуационного управления. Ситуационные советующие системы управления с нечеткой логикой делятся на два вида [4]: «ситуация – действие»; «ситуация – стратегия управления – действие». Различие между ними заключается в методе поиска управляющего решения.

К числу основных стратегий управления относятся, например, следующие:

- организация ложной атаки БЛА УН на ПВО;

- при наличии помех в канале спутниковой навигационной системы переход к инерциальной навигации;

- при наличии узкополосных помех в каналах управления и передачи данных применение адаптивной режекции;

- при высокой активности средств ПВО снижение высоты полета;

- при идентификации средств ПВО с пассивной инфракрасной системой самонаведения заход на атаку со стороны солнца и др.

Принятие решений о применении тех или иных стратегий управления в процессе выполнения боевой задачи комплексом БЛА УН должно осуществляться на основе оценивания рисков с использованием соответствующих моделей прогнозирования рисков.

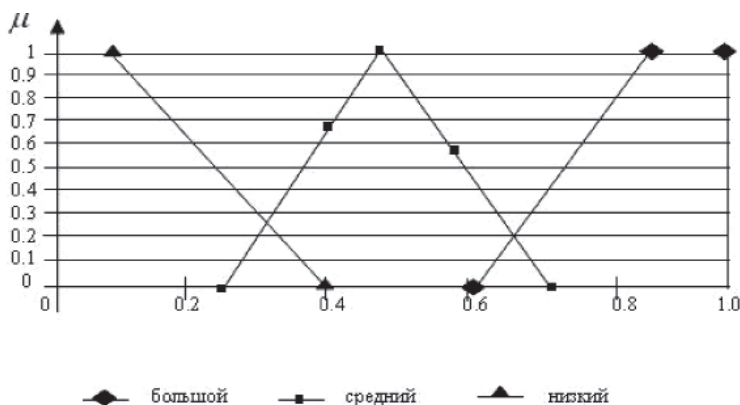


Рис. 2. Функция принадлежности лингвистической переменной «остаточный риск ИБ АС»

В системах «ситуация – действие» управляющие решения заданы в явном виде и представляют собой нечеткую базу знаний (НБЗ), которая оформлена в виде таблицы решений. Процедура вывода решения заключается в сопоставлении описания текущего состояния объекта управления со всеми эталонными ситуациями, выборе наиболее близкой, в некотором смысле эталонной ситуации и выдаче соответствующего ей управляющего решения. Для создания базы знаний – таблицы решений системы управления типа «ситуация – действие» необходимо определить соответствие между всеми возможными эталонными ситуациями, для которых определены управляющие воздействия, и набором управляющих решений.

В таблице st_i – эталонная ситуация, U_i – управляющее решение. Размер таблицы решений определяется числом эталонных ситуаций.

Таблица решений

st_1	U_1
st_2	U_2
...	...
st_n	U_n

Для определения состояния объекта управления необходимо сравнить входную нечеткую ситуацию st_0 с каждой ситуацией из набора эталонных нечетких ситуаций:

$$st = \{st_1, st_2, \dots, st_m\}. \quad (6)$$

В качестве меры для определения степени близости входной нечеткой ситуации st_0 , возникшей на потоке, и st_i из набора эталонных нечетких ситуаций st могут использоваться:

- степень нечеткого включения входной нечеткой ситуации st_0 в нечеткую ситуацию st_i ;
 - степень нечеткого равенства st_0 и st_i ;
 - степень нечеткой общности st_0 и st_i ,
- а также другие меры близости.

Выбор меры близости определяется особенностями объекта управления и организацией блока принятия решения. В качестве меры близости используем степень включения, потому что она обладает наибольшей степенью достоверности при определении принадлежности входной нечеткой ситуации к эталонной ситуации.

Пусть $st_i \{ \langle \mu_{st_i}(y)/y \rangle \}$, $st_j \{ \langle \mu_{st_j}(y)/y \rangle \}$ ($y \in Y$) есть некоторые ситуации. Степень включения ситуации st_i – в ситуацию st_j определяется выражением

$$v(st_i, st_j) = \&_{y \in Y} v(\mu_{st_i}(y), \mu_{st_j}(y)). \quad (7)$$

Ситуация st_0 – нечетко включается в ситуацию st_i , $st_0 \in st_i$, если степень включения st_0 в st_i не меньше порога включения t_{inp} ,

определяемого условиями управления, т.е. $v(st_0, st_i) \geq t_{inp}$. Таким образом, ситуация st_0 нечетко включается в ситуацию st_i , если нечеткие значения признаков ситуации st_0 нечетко включаются в нечеткие значения соответствующих признаков ситуации st_i .

Для оптимизации поиска ситуации st_i наиболее близкой к входной ситуации st_0 , на множестве st строится иерархия эталонных ситуаций в форме диаграммы Хассе, которая представляет собой ориентированный граф [4]. Поиск наиболее сходной эталонной ситуации начинается с верхнего уровня иерархии. Далее рассматриваются ситуации нижних уровней иерархии и т.д. Поиск заканчивается, если:

а) на некотором уровне иерархии в ситуацию st_i не включается ни одна ситуация множества st ;

б) для любой ситуации st_j включающейся в ситуацию st_i , выполняется условие $st_0 \notin st_j$.

В случае, если нет полного включения входной ситуации ни на одну из эталонных, то либо ситуация плохо определена, либо нет эталонной ситуации, соответствующей входной ситуации по всем признакам. В таком случае происходит доопределение ситуации или сравнение производится только по хорошо определенным признакам. У каждой эталонной ситуации в таблице решений существует управляющее решение. Поиск управляющего решения заключается в принятии управляющего решения, соответствующего эталонной ситуации наиболее близкой к входной ситуации.

Таким образом, разработана система, позволяющая осуществлять гибкое управление рисками в конфликте комплексов БЛА УН и ПВО при автономном функционировании комплекса БЛА УН в ходе выполнения боевой задачи. Использование теории нечетких множеств позволит сделать систему управления комплексом БЛА УН более универсальной, способной описать ситуацию в различных условиях выполнения боевой задачи и принять во внимание временную задержку с получением информации с потока.

Список литературы

1. Ананьев А.В. Выбор способа поражения группой ударных БПЛА на основе метода анализа иерархий // Актуальные вопросы исследований в авионике: теория обслуживания, разработки: Сб. науч. ст. по мат. докл. III Всероссийской НПК «Авиатор» (Воронеж, 11–12 февраля 2016 г.): в 2-х томах. Т. 2. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. – С. 8–14.
2. Ананьев А.В., Змий Б.Ф., Кашенко Г.А. Оценка риска влияния физических и информационных разрушающих воздействий на аэромобильную сеть связи // Авионика: Сб. ст. по мат. докл. I Всерос. НПК. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. – С. 22–26.
3. Максимов А.Н. Боевые комплексы беспилотных летательных аппаратов. Ч. 1. Системная характеристика боевых комплексов беспилотных летательных аппаратов / Под ред. А.Н. Максимова. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2005. – 237 с.
4. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 272 с.
5. Федосов Е.А. и др. Современное состояние и перспективы развития беспилотных авиационных систем XXI века: аналитический обзор / под ред. академика РАН Е.А. Федосова. – М.: Научно-информационный центр ГосНИИАС, 2012. – 195 с.