

Оценка эффективности использования комплексов с беспилотными летательными аппаратами для решения задач поиска и наблюдения

Assessing efficiency of applying units with unmanned aerial objects to solve search and monitoring tasks

Яковченко / Yakovchenko A.

Андрей Владимирович
(vka@mil.ru)

кандидат технических наук.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ
(ВКА им. А. Ф. Можайского),
старший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Кузьмин / Kuzmin V.

Виталий Васильевич
(vka@mil.ru)

кандидат военных наук, доцент.
ВКА им. А. Ф. Можайского,
старший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Афанасьев / Afanasev A.

Андрей Вячеславович
(vka@mil.ru)

ВКА им. А. Ф. Можайского,
старший научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: комплекс с беспилотными летательными аппаратами – unit with unmanned aerial objects; эффективность использования комплекса – unit application efficiency; задачи поиска и наблюдения – search and monitoring tasks.

В статье изложен подход к оценке эффективности использования комплексов с беспилотными летательными аппаратами при решении различных задач, которые могут найти применение в системах поддержки принятия решений в составе комплексов средств автоматизации управления.

The paper states an approach to assessing efficiency of applying units with unmanned aerial objects when resolving various tasks which may find application in decision making support systems comprised in control automation facility units.

В настоящее время во многих сферах жизнедеятельности государства находят широкое применение комплексы с беспилотными летательными аппаратами (КБЛА). На КБЛА возлагается выполнение разнообразных задач, которые можно объединить в три основные группы – наблюдения, обнаружения (поиска) и обеспечения.

К первой группе можно отнести задачи непрерывного слежения за районами пожаров, затоплений,

разрушений, экологической и эпидемиологической напряжённости, природных и техногенных катастроф, слежения за безопасностью движения на дорогах, за обстановкой на магистральных трубопроводах и т.п.

Ко второй группе могут быть отнесены задачи поиска и определения координат, а также других параметров объектов авиации, морских судов в районах крушения, участков аварий на трубопроводах, районов (мест) нахождения пропавших альпинистских и туристических групп и др.

К группе задач обеспечения можно отнести ретрансляцию сигналов, доставку разных грузов (например, медикаментов, средств связи, продуктов питания) терпящим бедствие или находящимся в «изоляции» экипажам, командам и группам, определение метеорологических данных в указанных районах и др.

В ходе выполнения этих задач КБЛА могут осуществлять просмотр зон интереса и поиск объектов в различных спектральных диапазонах длин волн; определение и уточнение координат и параметров объектов; обеспечение действий взаимодействующих средств и контроль результатов их действий. Комплексы с БЛА могут выполнять задачи самостоятельно или в составе групп.

В настоящее время разрабатывается и используется большое количество типов КБЛА различного назначения и с различными возможностями по выполнению своих функций. Поэтому возникает необходимость решения проблемной задачи – оценки эффективности использования (привлечения) КБЛА конкретного типа для

решения задач наблюдения и поиска в тех или иных условиях обстановки. Такая задача может решаться на этапе планирования их применения.

В комплексах средств управления КБЛА автоматизированы процессы распределения зон ответственности выполнения задач; распределения рабочего ресурса по задачам с учетом необходимости работы с взаимодействующими средствами; определения последовательности и времени начала выполнения задач; определения времени готовности к выполнению задач и др.

Несмотря на значительный уровень автоматизации процессов планирования, решение задачи оценки эффективности привлечения КБЛА с использованием средств автоматизации не предусмотрено. Данное обстоятельство значительно осложняет принятие обоснованного решения о привлечении того или иного типа комплекса для выполнения конкретной задачи и требует использования вычислительной техники в процессе принятия решений должностными лицами (применения систем поддержки принятия решений (СППР) или их элементов).

На систему поддержки принятия решений в составе комплексов средств управления могут быть возложены задачи [1]:

- анализа обстановки;
- выработки возможных решений (сценариев действий);
- оценки выработанных сценариев (действий, решений) и выбор лучшего;
- обеспечения постоянного обмена информацией об обстановке и согласования действий;
- моделирования принимаемых решений;
- анализа возможных последствий принимаемых решений;
- сбора данных о результатах реализации принятых решений и оценки результатов.

При оценке обстановки применяются методы интеллектуального анализа данных, а выработка и оценка вариантов решений осуществляется посредством программной реализации аналитических и имитационных моделей [2].

Для автоматизации процесса оценки эффективности привлечения КБЛА к выполнению задач предлагается использовать подход, основанный на имитационном моделировании.

На этапе выработки вариантов решений возможно использование модели функционирования комплекса, имитирующей процессы наблюдения, поиска объектов и уточнения их параметров, обеспечения действий, а также процессы взаимодействия с заинтересованными инстанциями.

В ходе вычислительного эксперимента в соответствии с разработанными сценариями имитируется работа КБЛА. В результате моделирования будет получено множество выходных сообщений от моделируемой системы (комплекса с БЛА), соответствующих

по структуре принятому информационному обмену и содержащих информацию о зонах интереса, объектах поиска, результатах действий взаимодействующих средств.

На основе сравнения полученных сообщений с цифровым описанием поведения объектов в зонах интереса в ходе всего периода моделирования предусматривается определить значения выбранных показателей эффективности решения задач комплексом. Результаты расчетов будут использоваться в качестве исходных данных на последующих этапах принятия решения.

Эффективность выполнения основных задач комплексом с БЛА характеризуется вероятностью их своевременного выполнения с требуемым качеством.

Так, способность успешно вести поиск объектов характеризуется вероятностью обнаружения с требуемым качеством необходимого количества объектов в зоне интереса в течение определенного времени. Поэтому в качестве показателя эффективности поиска целесообразно принять вероятность выполнения комплексом с БЛА требуемого объема задач по обнаружению объектов с требуемым качеством ($P_{по}$), которая определяется по формуле

$$P_{по} = P(N \geq N_{тр}) \cdot P(E_{ош} \leq E_{тр}) \cdot P(T_{пп} \leq T_{пкы}) \cdot P(E_{дост} \geq 0,9) \cdot P(E_{полн} \geq E^{тр}), \quad (1)$$

где N – количество обнаруженных КБЛА объектов определенного типа;

$N_{тр}$ – требуемое количество обнаруженных объектов этого типа;

$P(N \geq N_{тр})$ – вероятностная гарантия выполнения КБЛА требуемого объема задач по поиску объектов рассматриваемого типа;

$E_{ош}$, $E_{тр}$ – статистическая срединная ошибка определения комплексом с БЛА координат объектов и ее требуемое значение;

$P(E_{ош} \leq E_{тр})$ – вероятностная гарантия обнаружения КБЛА объектов с требуемой точностью;

$T_{пп}$, $T_{пкы}$ – соответственно время подготовки и применения взаимодействующих средств и время нахождения объекта на контролируемом участке местности в зоне интереса;

$P(T_{пп} \leq T_{пкы})$ – вероятность своевременности информации;

$E_{дост}$ – доля объектов, информация о которых является истинной;

$P(E_{дост} \geq 0,9)$ – вероятностная гарантия достоверности информации;

$E_{полн}$ – доля объектов, информация о которых является полной;

$E^{тр}$ – требуемое значение доли объектов, информация о которых является полной;

$P(E_{полн} \geq E^{тр})$ – вероятностная гарантия полноты информации, поступающей от комплекса с БЛА.

При решении задач уточнения координат и других параметров объектов, ранее обнаруженных в определенном районе, необходимо учитывать отличия (особенности) в функционировании КБЛА. Так, при уточнении параметров известен тип объекта, конкретизирован район поиска объекта и могут быть известны его приближенные координаты. Поэтому в качестве показателя эффективности решения задачи КБЛА целесообразно использовать вероятность выполнения требуемого объема задач по уточнению параметров объектов с требуемым качеством – $P_{\text{уточн}}$.

При обеспечении действий взаимодействующих средств в качестве показателя эффективности решения задачи целесообразно использовать вероятность выполнения КБЛА требуемого объема задач по обеспечению взаимодействующих средств (органов управления) с требуемым качеством – $P_{\text{обесп}}$.

При контроле результатов действий взаимодействующих средств в качестве показателя эффективности целесообразно использовать вероятность выполнения КБЛА требуемого объема задач по контролю результатов с требуемым качеством – $P_{\text{кр}}$.

Значения показателей эффективности применения КБЛА при решении задач уточнения параметров объектов, обеспечения действий взаимодействующих средств и контроля результатов их действий могут быть определены по математическим зависимостям, аналогичным формуле (1) для определения $P_{\text{по}}$.

В качестве основного подхода к оценке эффективности исследуемой системы (комплекса с БЛА) целесообразно принять концепцию пригодности, заключающуюся в том, что любая стратегия (u) рациональна, если значение показателя эффективности превышает требуемое значение, т.е.:

$$W(u) \geq W_{\text{тр}}. \quad (2)$$

Применительно к нашей задаче это означает, что КБЛА функционирует эффективно, если вероятность успешного выполнения возлагаемой задачи не менее требуемого значения, т.е.:

$$P \geq P_{\text{тр}}. \quad (3)$$

Для сложной технической системы, обладающей значительной степенью неопределенности, в качестве первого приближения можно принять значение $P_{\text{тр}}$ не менее 0,8.

Требуемое количество обнаруженных объектов определенного типа ($N_{\text{тр}}$) при ведении поиска (поиск мест крушения, экипажей, терпящих бедствие и др.) представляет собой возлагаемый на КБЛА объем задач, а величина требуемого значения статистической срединной ошибки определения координат ($E_{\text{тр}}$) комплексом должна соответствовать значениям, обеспечивающим эффективное применение взаимодействующих средств.

Поскольку требования к полноте данных реализованы в КБЛА, то целесообразно принять, что

$$P(E_{\text{полн}} \geq E^{\text{тр}}) = 1. \quad (4)$$

Временные величины выполнения задач поиска носят случайный характер, так как определяются характером действий и условиями расположения обнаруживаемого объекта, характеристиками (возможностями) КБЛА и способами его применения. Поэтому вероятности своевременности передаваемой информации представляют собой математическое ожидание количества своевременных сообщений (т.е. на момент времени возможного применения взаимодействующих средств обнаруженный объект с большой вероятностью будет находиться на контролируемом участке местности в зоне интереса). В свою очередь своевременность предоставления информации о результатах контроля действий взаимодействующих средств характеризуется оперативностью выполнения соответствующих заявок (интервал времени с момента постановки задачи до выдачи информации).

Последовательность расчетов показателей эффективности решения функциональных задач включает в себя следующие этапы (приведено для $P_{\text{по}}$).

1. Расчет количества сообщений об обнаруженных объектах i -го типа КБЛА для j -й реализации процесса поиска («прогона» имитационной модели) N_{ij} .

2. Расчет вероятности выполнения КБЛА требуемого объема задач по поиску объектов i -го типа (математическое ожидание отношения количества благоприятных исходов к общему количеству реализаций моделируемого процесса поиска) по формуле

$$\tilde{P}_{\text{по}} = \frac{\sum_{j=1}^m \delta_{ij}^{\text{по}}}{m}, \quad (5)$$

где m – количество реализаций процесса поиска («прогона» модели);

$\delta_{ij}^{\text{по}}$ – индикатор события $N_{ij} \geq N_{ij}^{\text{тр}}$.

3. Расчет вероятности определения координат с требуемой точностью при обнаружении i -го типа объекта в j -м «прогоне» имитационной модели по формуле

$$\tilde{P}_{\text{точн}} = \frac{\sum_{j=1}^m \delta_{ij}^{\text{точн}}}{m}, \quad (6)$$

где m – количество реализаций процесса определения координат;

$\delta_{ij}^{\text{точн}}$ – индикатор события $E_{\text{ош } ij} \leq E_{ij}^{\text{тр}}$.

4. Расчет математического ожидания количества объектов, информация о которых была получена своевременно, по формуле

$$\tilde{P}_{\text{своевр}} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{N_{ij}} \delta_{ijk}^{\text{своевр}}}{m N_{ij}}, \quad (7)$$

где m – количество «прогонов» модели;
 $\delta_{ijk}^{\text{своєвр}}$ – индикатор события $T_{\text{пийк}} \leq T_{\text{нкуйк}}$, показывающий нахождение на контролируемом участке местности в зоне интереса k -го объекта i -го типа в j -м «прогоне» при работе взаимодействующих средств.

5. Расчет вероятности предоставления достоверной информации по формуле

$$\tilde{P}_{\text{дост}} = \frac{\sum_{j=1}^m \delta_{ij}^{\text{ист}}}{m}, \quad (8)$$

где m – количество «прогонов» модели;
 $\delta_{ij}^{\text{ист}}$ – индикатор события, что доля истинной информации в j -м «прогоне» об объектах i -го типа составила не менее 0,9.

6. Формирование вывода I (на этапе оценки выработанных вариантов решений) об эффективности использования комплекса при решении рассматриваемого типа задач в соответствии с правилом:

$$I = \begin{cases} \text{эффективен, если } \tilde{P}_{\text{по}} \cdot \tilde{P}_{\text{точн}} \cdot \tilde{P}_{\text{своєвр}} \cdot \tilde{P}_{\text{дост}} \geq 0,8 \\ \text{неэффективен, если иначе.} \end{cases} \quad (9)$$

Методики расчета показателей эффективности функционирования КБЛА при уточнении параметров объектов, обеспечении действий взаимодействующих средств и контроле результатов их действий могут быть аналогичны приведенной.

На основе моделирования и оценки эффективности выполнения задач различными типами КБЛА (с учетом условий обстановки) осуществляется выбор наиболее эффективного комплекса и принимается окончательное решение. Процесс принятия решений может повторяться, если предлагаемый вариант не удовлетворяет потребителя.

Таким образом, изложенный в статье подход может быть рекомендован для практического использования в системах поддержки принятия решений комплексов средств управления при оценке эффективности привлечения КБЛА к выполнению задач наблюдения, обнаружения (поиска) и обеспечения. Для проведения оценки необходима разработка моделей функционирования КБЛА и взаимодействующих с ними средств, позволяющих в ходе вычислительного эксперимента получать исходные данные для расчета значений показателей эффективности использования комплексов с БЛА при решении различных задач.

Литература

1. Трахтенгерц, Э. А. Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений / Э.А. Трахтенгерц // Проблемы управления. – 2003. – № 1. – С. 13–28.
2. Беленький, А. Г. Прогнозирование состояния динамических сложных систем в условиях неопределенности / А.Г. Беленький, И.Н. Федосеева. – М.: ВЦ РАН, 1999.