

УДК 519.81

Н.А. Королюк<sup>1</sup>, С.Н. Еременко<sup>2</sup><sup>1</sup> Харьковський університет Воздушних Сил імені Івана Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Харьковський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ НА НАЗЕМНОМ ПУНКТЕ УПРАВЛЕНИЯ

*Рассматривается подход по формированию рекомендаций для своевременного принятия обоснованных решений оператором при дистанционном управлении беспилотным летательным аппаратом при решении различных задач.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, система поддержки принятия решений.

### Введение

**Постановка проблемы.** Опыт локальных конфликтов показывает, что формы и способы ведения военных действий претерпели существенные изменения. На первое место выходит не количественно-качественный состав противоборствующих группировок, а информационное обеспечение военных действий. Участвующие в современной войне силы высокоинтеллектуальные, поэтому информационное противоборство – ключевой момент в вооруженном противостоянии. Пользуясь знаниями, полученными от всеохватывающего наблюдения за полем боя и расширенного понимания намерений командования, силы будут способны к самосинхронизации и станут эффективными при автономных боевых действиях. Развитие современных и перспективных технологий позволяет сегодня беспилотным летательным аппаратам (БЛА) успешно выполнять функции, которые в прошлом выполнялись другими силами и средствами. Результаты анализа антитеррористической операции (АТО) на Востоке Украины показывают высокую эффективность применения БЛА при выполнении задач ведения наблюдения, разведки, целеуказания, РЭБ, корректировки огня.

Управление движением БЛА осуществляется с наземного пункта управления, включающего в себя пункт управления (ПУ) вместе с программным обеспечением (ПО) и аппаратуру приема и передачи данных по каналу радиосвязи (рис. 1).

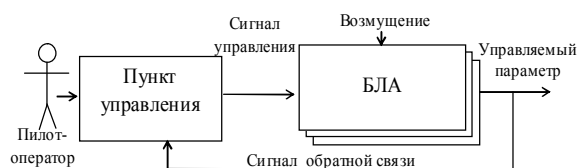


Рис. 1. Система управления БЛА

Управление БЛА осуществляется одним из возможных вариантов: пилотом-оператором (ручное

управление), системой автоматического управления или совместным применением системы автоматического и ручного управления (автоматизированное управление). Проведенный анализ систем управления показал, что дистанционное управление (ДУ) включает достоинства остальных режимов и заключается в передаче по командной радиолинии заданий для исполнительных механизмов.

Система ДУ отвечает за планирование полетного задания, формирование команд управления для системы автоматического управления при изменении маршрута полета пилотом-оператором, настройку параметров системы автоматического управления, отображение телеметрической информации, анализ полетных данных, а также управление полезной нагрузкой БЛА. Со стороны пилота-оператора ДУ сводится к уточнению программы полета на маршруте, выдаче разовых команд в районе решения целевой задачи. Задача формирования команд при ДУ носит логико-аналитический характер, выработка единых правил определения программы, параметров полета в условиях неопределенности является трудноразрешимой задачей.

Таким образом, оперативная гибкость, способность в режиме реального времени передавать полученную информацию на вышестоящие уровни управления и своевременно на любом этапе полета получать необходимые данные для ее анализа и принятия решения, обуславливают целесообразность использования дистанционного режима управления. ДУ оператором БЛА – это сложная многокритериальная задача. Противоречивость требований к результату принимаемых решений, неоднозначность оценки ситуации, ошибки в выборе приоритетов усложняют процесс принятия решений при управлении, не позволяют эффективно обрабатывать информацию и оперативно анализировать ее для принятия обоснованных решений. Основные задачи, решаемые оператором при ДУ, носят логико-аналитический характер, требуют обоснованных

оперативных решений на основе получаемой фото и видеоинформации и состоят из:

- выработки решения на выполнение действий по поиску объектов на основании результатов анализа событий и уровня располагаемых возможностей БЛА;
- обнаружения, распознавания и определения координат выбранного объекта;
- использования принципа выбора объекта по степени его важности и приоритетности;
- приема, переработки и анализа достоверности получаемой по радиоканалу информации;
- обеспечения устойчивого управления движением БЛА по маршруту, на котором ожидается присутствие интересующих оператора объектов;
- использования технических возможностей бортовых устройств и систем БЛА;
- управления полезной нагрузкой: управление линией видимости камеры; контроля направления и наклона камеры по осям; захват моментального снимка, запоминание и создание метки на фоне карты; изменение масштаба; изменение фокусирования.

Оператор БЛА в современных условиях ведения боевых действий выполняет навигационные, аналитические функции, осуществляет процессы по расшифровке фото и видеоинформации и непосредственно является лицом, принимающим решение. Необходимы слаженные и продуманные действия оператора, осуществление которых можно только благодаря опыту, знаниям по управлению БЛА и дешифровке фото и видео информации. Основные функции ПО направлены на обеспечение выполнения типовых операций оператором, а решение логико-аналитических задач, связанных с выбором объекта по степени его важности, переработкой получаемой по радиоканалу информации, выработкой решения на выполнение действий по поиску объектов с учетом уровня располагаемых возможностей БЛА в условиях оперативного изменения условий наблюдения не решены и требуют от оператора высокой квалификации и интуиции, оперативности принятия решений по управлению БЛА.

Таким образом, существует противоречие между необходимостью своевременной выработки достаточно обоснованных рекомендаций по управлению БЛА в условиях неопределенности, и ограниченными возможностями ПО существующих наземных ПУ. Разрешение данного противоречия возможно путем усовершенствования ПО на ПУ путем применения новых информационных технологий, в частности технологий интеллектуальных систем, что позволит исследовать динамические процессы, формулирование которых выходит за рамки количественных моделей [5].

**Анализ литературы.** Анализ существующей отечественной и зарубежной литературы [1, 2, 3] показывает, что до сегодняшнего времени отсутствует единый общепринятый подход по дистанцион-

ному управлению БЛА при решении различных задач. В [1] рассматривается порядок формирования маршрута полета при автоматическом управлении БЛА только для решения задач разведки. Недостаточная степень адаптивности к внешним условиям и неспособность выработки сигналов управления на борту БЛА на основе неполной, неточной исходной информации, несмотря на достаточный уровень решения расчетных задач, негативно сказывается на качестве решения поставленной задачи. В [2] рассмотрены вопросы, связанные с использованием технологий «машинного зрения» для автоматического определения значений текущих координат объектов с целью формирования сигналов управления движением БЛА. В [4, 5] приведено состояние и перспектива разведывательных БЛА. Эти данные могут составить основную информацию для экспертов при формировании правил формирования команд при управлении БЛА во время разведки, целеуказания, корректировки артиллерийского огня, оценки результатов ударов. Анализ литературы дает возможность сформулировать цель статьи.

**Цель статьи** заключается в разработке подхода по формированию рекомендаций для своевременного принятия обоснованных решений оператором при дистанционном управлении БЛА.

### Решение поставленной задачи

Проведенный анализ показал, что при планировании и проведении боевых действий в АТО воздушная разведка является основным, надежным источником регулярного получения достоверной информации в любое время независимо от погодных условий, географического размещения разведываемых районов, объектов. Требования, предъявляемые к видам воздушной разведки, приведены на рис. 2. Среди задач обеспечения боевых действий группировки тактического и оперативно-тактического уровня особое место занимают задачи разведки, которая делится на предварительную разведку, доразведку и контроль.

В настоящее время управление БЛА в основном ведется оператором с помощью передачи ему видовой информации, принимаемой на борту. Решение об обнаружении искомого объекта и последующих действиях принимает оператор. К недостаткам технологии непосредственного участия оператора в процессе ДУ БЛА в реальном времени следует отнести: сложные условия работы, приводящие к повышению ошибок обнаружения, принятия решений о последующих действиях; невозможность эффективного управления более одного БЛА из-за больших объемов циркулирующей информации, снижение производительности поиска, обнаружения, решения поставленной задачи при оперативном изменении условий наблюдения, необходимость соответствующей квалификации и опыта для оперативного принятия решений.

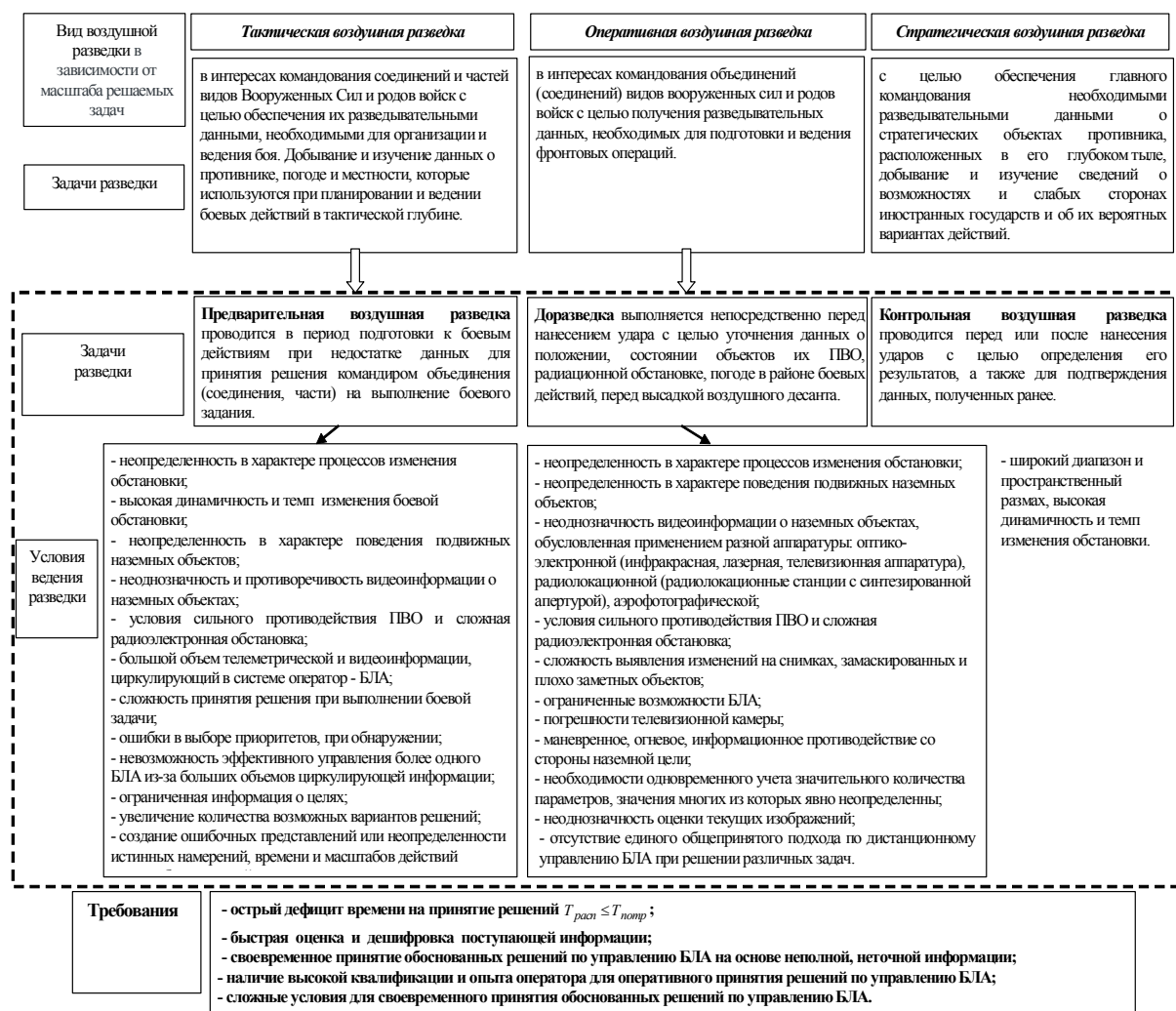


Рис. 2. Условия и требования, предъявляемые к воздушной разведке

Одним из направлений, позволяющих существенно повысить эффективность решения задач разведки, целеуказания, корректировки артиллерийского огня, оценки результатов ударов является использование интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР) при ДУ БЛА на НПУ. В основе функционирования интеллектуальной СППР при ДУ БЛА лежит процедура сопоставления текущего и эталонного изображения с последующим формированием рекомендаций оператору по управлению БЛА с использованием:

- существующей априорной информации о возможных объектах (явлениях, процессах) интереса, включающей тип, количество, их атрибуты, взаимное расположение, геометрические и яркостные характеристики, параметры двумерных полей (например — поля рельефа, оптического контраста и т.п.), позволяющей построить её эталонное изображение;

- апостериорной информации о наблюдаемой в процессе полета сцене (условиях её наблюдения, характеристиках сенсорных датчиков и их ошибках, и т. п.), представляющей собой текущее изображение в определенном спектральном диапазоне.

Однако задача формирования рекомендаций по управлению БЛА носит логико-аналитический характер и выработка единых правил определения способа сближения с наземной целью (НЦ), ракурса, высоты полета, дистанции выхода на НЦ в условиях неопределенности является трудноразрешимой задачей:

- наличие существенной априорной неопределенности в информации об объектах распознавания и сцене в целом (разнородность, неточность и неполнота информации, изменчивость двумерных полей и т.д.);

- наличие изоморфных преобразований (искажений) текущего изображения (изменение общего уровня яркости, масштаба, сдвиг и поворот изображения относительно всех трех ортогональных осей и т.д.), приводящих к его пространственно-временной трансформации; наличие помех естественного и искусственного происхождения, включая полное или частичное затенение (загораживание) объектов или сцены в целом.

Исходя из сказанного, необходимо выделить три основных направления исследований по решению указанной проблемы.

1. Разработка методов и технологий формирования эталонных изображений (эталонных описаний) на основе использования аэро- и космоснимков заданных участков земной поверхности, каталогов отражательных характеристик, описаний характерных черт объектов естественного и искусственного происхождения, априорной информации об условиях наблюдения рассматриваемых сцен при получении текущих изображений и т.д.

2. Разработка алгоритмов совмещения эталонных и текущих изображений, обеспечивающих робастность к изменению априорных предположений о характеристиках изображений наблюдаемых сцен.

3. Разработка наземной интеллектуальной СППР при ДУ БЛА, реализующие алгоритмы совмещения эталонных и текущих изображений с последующим формированием рекомендаций оператору при решении различных задач.

При разработке методов и технологий формирования эталонных изображений необходимо учитывать, что входная информация представляет собой изображение рассматриваемой сцены (или несколько изображений, включая стереопары), а выходная состоит из описания сцены, объекта, породившей это изображение (или изображения). Описания должны соответствовать как эталонному, так и текущему изображениям и быть представлены в форме, обеспечивающей возможность последующего сопоставления этих описаний. Существует несколько подходов к формированию эталонного изображения и описаний: геометрический подход, основанный на формировании выразительной символической интерпретации сцены по одному или нескольким изображениям этой сцены в виде трехмерной геометрической модели; определение оптимальной комбинации проекций, позволяющей учитывать трехмерный характер геометрии объектов и сцены. Процедуры отличаются друг от друга выбором геометрических признаков объектов, методами описания этих объектов.

Рассмотрим возможную последовательность основных этапов подготовки эталонного описания. Исходными данными являются:

- цифровая модель местности (ЦММ), включающая цифровые модели объектового состава и подготовленная по сложившейся технологии с использованием аэрокосмофотоснимков и методов построения трехмерных геометрических моделей;

- основные характеристики бортового датчика текущего изображения (размер поля зрения, чувствительность, число элементов разрешения изображения при его представлении в цифровом виде);

- значения координат точки визирования при получении текущего изображения.

На первом этапе подготовки эталонного описания из ЦММ удаляются те её элементы, которые, возможно, не могут быть получены на текущем изображении; для заданных значений пространствен-

ных координат точки наблюдения строится геометрическая модель наблюдаемой сцены (объекта) в цифровой форме с нанесенной точкой прицеливания. На втором этапе формируется описание эталонной модели наблюдаемой сцены (типового объекта), содержащего в символическом виде информацию о координатах контуров объектов и их высотах вместе с координатами точки прицеливания и точки наведения. На третьем этапе оператором реализуется экранное изображение эталонной модели с последующими операциями выделения наиболее информативных прямолинейных отрезков контуров типовых объектов сцены - эталонных элементов. К таким элементам относятся те, которые должны с большой вероятностью присутствовать на текущем изображении, обладать достаточной длиной и обеспечивать уникальность формы образованного из них эталонного фрагмента. На четвертом этапе эталонное изображение содержит описания:

- эталонных элементов в виде информации о прямолинейных отрезках контуров (координаты точек отрезка и его ориентация);

- эталонных фрагментов (координаты центра фрагмента, список эталонных элементов);

- эталонных групп (координаты центра и список включенных эталонных фрагментов), а также данные о взаимных положениях и допусках на пространственные связи эталонных фрагментов и групп.

Набор полученных эталонных описаний групп, фрагментов, конкретных типовых объектов, соответствующих измеренному значению дальности и ракурса и используемых для сравнения с текущим изображением, хранятся в базах данных.

Форма представления эталонного описания однозначно связана процессом обработки изображений и совмещения эталонных и текущих изображений. Процесс алгоритмизации в общем виде можно представить последовательностью процедур: фильтрация исходных изображений; выделения характерных черт; признаков, неформальных описаний, подлежащих сравнению с эталонным описанием в соответствии с критерием вида

$$\rho = \left( \sum_i a_i (F_i - G_i)^\alpha \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (1)$$

$\rho$  – мера близости эталонного и текущего описаний, представленных векторными функциями  $F_i$  и  $G_i$ ; скалярные величины  $a_i$  – весовые коэффициенты;  $i$  – номер эталона;  $\alpha \in (1, \infty)$  – характеристики используемой метрики; анализа сцены и формирования рекомендаций оператору по ДУ БЛА.

Существуют различные методы сравнения изображений. Широко известен метод непосредственного сравнения эталонного и текущего изображений, рассматриваемых как двумерные функции яркости (или интенсивности),  $F(x,y)$ ,  $G(x,y)$  (1). В ка-

честве оценки меры близости часто используются значения коэффициента корреляции (нормированного, морфологического), отличающегося различными формами представления.

Во многих случаях вместо операций над полутоновыми изображениями, целесообразно оперировать с кодированными (бинарными) изображениями, в которых значения яркости каждого дискретного элемента принимают значения  $\{0,1\}$ . При сравнении изображений такого типа удобно использование метода «оконной» фильтрации, одной из разновидностей которого являются алгоритмы согласованной фильтрации. «Окном», совпадающим по форме с распознаваемым объектом, осуществляется в этом случае процедура просмотра всего изображения с подсчетом количества пикселей со значениями единицы для каждого текущего положения «окна». Если количество превышает значение некоторого заранее заданного порога, то обнаружение объекта считается совершившимся, а центр «окна» отмечается меткой, равной единице.

Существенными преимуществами, с точки зрения вычислительной трудоемкости, обладают методы структурно-лингвистического типа, когда каждый объект на изображении после кодирования представляется некоторой структурой «языкового» типа. Структурно-лингвистические знаки представляют собой неприводимые элементы (символы) структуры распознаваемого объекта и отношения

между этими элементами. После совмещения эталонных и текущих изображений в результате логического вывода в продукционной модели представления знаний, формируемых заранее и описывающих отношения между объектами (явлениями, процессами), управляющими функциями, непосредственно формируются рекомендации оператору/

Таким образом, в базе знаний в виде продукций вида (2), хранятся правила определения способа сближения с НЦ, ракурса, высоты полета, дистанции выхода на НЦ, управляющие действия по решению конкретной целевой задачи

$$(j) : S; L; A \rightarrow B; Q, \quad (2)$$

где  $j$  – номер продукции,  $S$  – класс ситуации,  $L$  – условие актуализации,  $A, B$  – левая, правая части продукции,  $Q$  – указание, вводимые после реализации данной продукции.

Один из возможных вариантов функционирования интеллектуальной СППР при ДУ БЛА на НПУ может быть описан, следующей функциональной схемой (рис. 3):

1) после выхода БЛА в заданный район наблюдения участка земной поверхности по информации от информационно-навигационной системы (ИНС) определяются расчетные значения углов ориентации и угловых скоростей линии визирования в вертикальной и горизонтальной плоскостях, наклонной

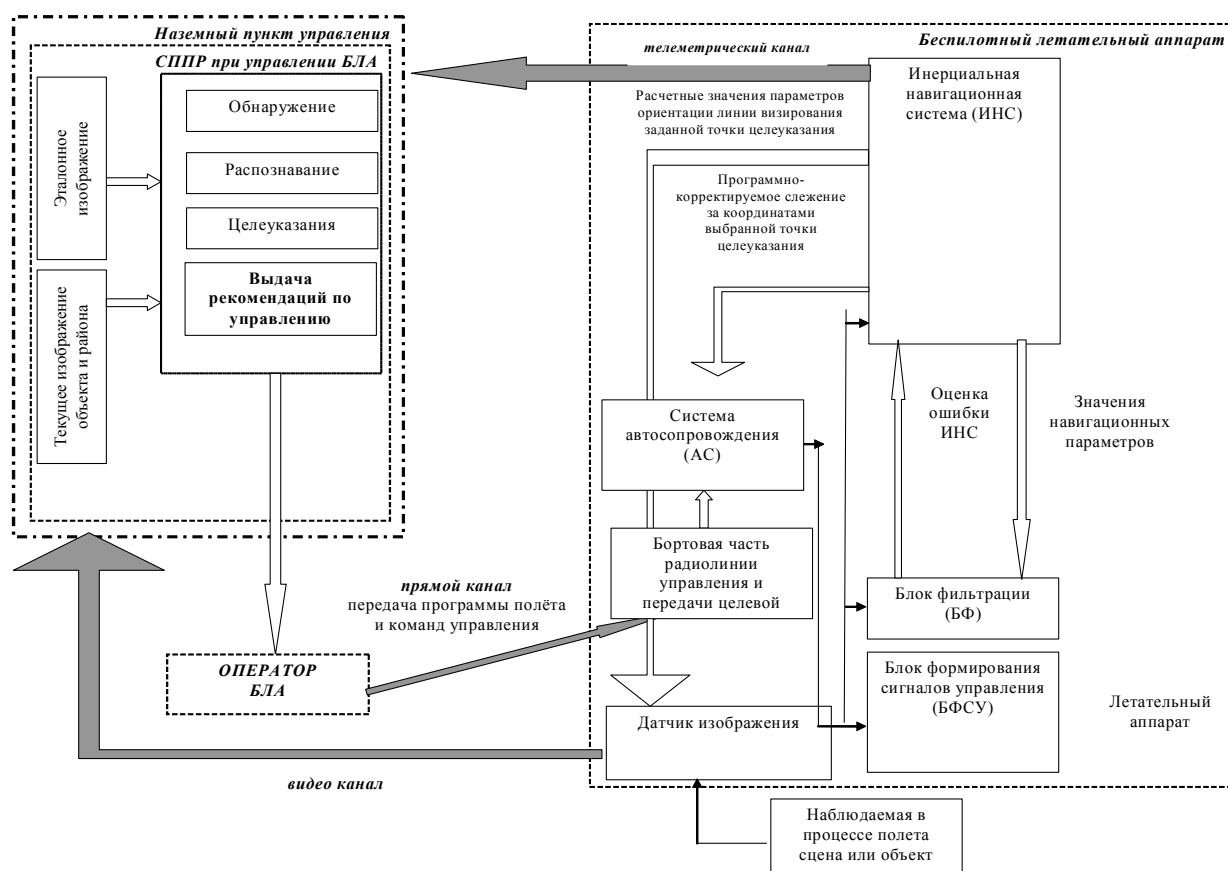


Рис. 3. Схема дистанционного управления БЛА с использованием интеллектуальной СППР

дальности до заданного объекта (фрагмента изображения), в соответствии с которыми осуществляется выставка оптической оси датчика изображений в направлении расчетной точки целеуказания;

2) в расчетной точке траектории формируется текущее изображение объекта и района его расположения в зависимости от возможностей датчика изображений, скорости движения летательного аппарата и его маневренных возможностей, поставленной задачи;

3) текущее изображение передается по радиоканалу в реальном масштабе времени в СППР при ДУ БЛА на НПУ;

4) в СППР осуществляются операции фильтрация исходных изображений, выделения характерных черт, признаков, неформальных описаний и сопоставления с хранящимся в базе эталонным изображением, в результате которых решаются задачи обнаружения, распознавания и целеуказания заданного объекта и формирования рекомендаций оператору по ДУ БЛА в зависимости от поставленной задачи, при этом по информации от ИНС осуществляется программное управление датчиком изображений для непрерывной ориентации его оптической оси в направлении выбранной точки целеуказания;

5) реализация команд управления, поступивших от оператора БЛА, путем формирования сигналов управления;

6) переход в режим автосопровождения (АС) точки целеуказания;

7) допускается возможность повторения процедур обработки текущей информации и сопоставления его с эталонным изображением, выдачи рекомендаций оператору БЛА;

8) в случае срыва процесса АС управляющие сигналы формируются по информации от ИНС с учетом оценок, получаемых в блоке фильтрации.

Таким образом, использование интеллектуальной СППР при ДУ БЛА позволяет своевременно принимать обоснованные решения оператором в условиях неопределенности, противоречивости входной информации об объектах, ограниченных возможностях БЛА, сложной помеховой обстановки, маневренного, огневого, информационного противодействия со стороны наземной цели, значительного количества параметров, значения многих из которых явно неопределены.

## Выводы

Разработка подхода по формированию рекомендаций для своевременного принятия обоснованных решений оператором при дистанционном управлении БЛА является актуальной проблемой. Одним из направлений, позволяющих существенно повысить эффективность решения задач разведки, целеуказания, корректировки артиллерийского огня, оценки результатов ударов является использование интеллектуальной СППР при ДУ БЛА на НПУ, что предусматривает решение частных задач.

Использование интеллектуальной СППР при управлении БЛА на НПУ позволяет своевременно принимать обоснованные решения оператором в условиях неопределенности, противоречивости входной информации об объектах, ограниченных возможностях БЛА, сложной помеховой обстановки, маневренного, огневого, информационного противодействия со стороны наземной цели, значительного количества параметров, значения многих из которых явно неопределены. Знания экспертов позволяют сформировать единые правила по управлению БЛА при решении разных целевых задач в условиях неопределенности.

## Список литературы

1. Васильев С.Н. Интеллектуальное управление динамическими системами / С.Н. Васильев, А.К. Жерлов, Е.А. Федосов, Б.Е. Федун. – М.: Физматлит, 2000. – 420 с.
2. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Себрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 280 с.
3. Кузнецов А.Г. Система ориентации мобильного робота относительно внешних ориентиров на основе обработки изображений / А.Г. Кузнецов, И.Г. Крылов, А.В. Лебедев // Труды 18 МНТС. – Алушта, 2009. – С. 69.
4. Цепляева Т.П. Анализ применения беспилотных комплексов / Т.П. Цепляева, Е.М. Поздышева, А.Г. Поштаренко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2008. – Вып. 39. – С. 149-154.
5. Сучасний стан і перспективи розвитку розвідувальних безпілотних літальних апаратів тактичної та оперативно-тактичної дії // Вісник військово-наукової інформації. – Суми: НЦ БЗ РВіА, 2013. – 31 с.

Поступила в редколлегию 26.05.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Лемешко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ НА НАЗЕМНОМУ ПУНКТІ УПРАВЛІННЯ

Н.О. Королюк, С.М. Єременко

*Розглядається підхід щодо формування рекомендацій для своєчасного прийняття обґрунтованих рішень оператором при дистанційному управлінні безпілотним літальним апаратом при вирішенні різних завдань.*

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, система підтримки ухвалення рішень.

## INTELLIGENT DECISION SUPPORT IN THE MANAGEMENT OF DRONE GROUND CONTROL STATION

N.A. Korolyuk, S.N. Eremenko

*Discusses an approach to formation of recommendations for timely decision based solutions by the operator for remote control of drone in solving various tasks unmanned aerial vehicle, the system support decision making.*

**Keywords:** drone, system of support of making a decision.