

# СИТУАЦИОННАЯ ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ ГРУППЫ АВТОНОМНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Косарев Г.И.**

*Главный научно-исследовательский испытательный межвидовой центр перспективного  
вооружения, Москва, Россия  
k.greg.esl@gmail.com*

*Аннотация. Рассмотрены особенности формирования системы ситуационной осведомленности в группе автономных беспилотных летательных аппаратов. Особенности вызваны ограничениями, накладываемыми со стороны противодействующих сил, и недостатками современных бортовых систем связи и вычислений. Дан пример построения пространственно-временной структуры ударно-разведывательной группы автономных беспилотных летательных аппаратов.*

*Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, группа, ситуационная осведомленность, противодействие, ударно-разведывательный контур, сценарий применения.*

## **Введение**

Рост возможностей микроэлектроники, высокопроизводительных процессоров и алгоритмов машинного обучения предоставляет широкие возможности в применении беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в логистике, мониторинге инфраструктуры, агропромышленном комплексе и других гражданских направлениях. Современный опыт ведения боевых действий доказал, что БЛА также активно могут применяться и для решения военно-технических задач, таких как разведывательно-ударных, задач сопровождения и конвоирования, организации связи и других.

В настоящее время отдельные разведывательные и ударные БЛА чаще всего управляются операторами, и в краткосрочной перспективе ключевым вариантом применения станет развертывание полностью автономных групп аппаратов. Опыт проведения специальной военной операции показывает, что такая эволюция диктуется необходимостью преодоления ограничений радиоэлектронного противодействия (РЭП), задержек канала управления и расширения масштабируемости операций.

Характерной особенностью выполнения условия автономности БЛА является обеспечение его необходимой информацией, на основании которой интеллектуальной системой будут приниматься решения о дальнейших действиях БЛА – такая концепция называется ситуационной осведомленностью.

Цель данной статьи – описать фундаментальные принципы построения подсистем, обеспечивающих ситуационную осведомленность в группе автономных БЛА, а также показать схему взаимодействия группы ударных и разведывательных БЛА в условиях противодействующей среды.

## **1. Компоненты ситуационной осведомленности**

В условиях автономности БЛА должны эффективно выполнять весь перечень задач, которые сейчас решает оператор, а именно:

- взлет и, при необходимости, посадку;
- реконфигурация строя во время полета во избежание непреднамеренных столкновений, а также с целью динамической адаптации строя под нужды выполняемой задачи;
- в зависимости от типа БЛА должны осуществляться наблюдение, целеполагание и целераспределение;
- выполнение задач по предназначению.

Для выполнения вышеперечисленных задач группа автономных БЛА должна быть ситуационно осведомлена. Ситуационная осведомленность есть способность системы воспринимать разнородную информацию, в том числе о себе и об окружающей среде, анализировать ее, выделять ключевые моменты и прогнозировать их влияние на выполнение тех или иных задач. Концепция ситуационной осведомленности изначально формировалась в авиации и военных системах, но сегодня активно переосмысливается для распределённых автономных групп [1].

В общем случае ситуационная осведомленность имеет три составляющие:

- сбор информации – система должна воспринять данные от всех доступных сенсоров: оптических, радиолокационных, акустических и т.д.;

- анализ и понимание – на основе принятых данных строится целостная картина обстановки (идентификация объектов, оценка их состояния и намерений);
- прогноз – прогнозирование возможных траекторий и сценариев развития событий для планирования действий.

Эти три уровня часто связывают с так называемой моделью Эндсли, которая легла в основу большинства современных исследований по автономным системам. Модель Эндсли применяется в различных областях, которые характерны большими объемами обрабатываемой информации, высокой динамикой пространственно-временных структур и необходимостью параллельного решения возникающих задач в условиях ограниченных технических возможностей.

## 2. Подсистемы обеспечения ситуационной осведомленностью

В контексте автономной группы БЛА эти три составляющие распределяются между собой и коллективно интегрируются посредством сетевых взаимодействий и алгоритмов распределённого принятия решений.

Таким образом, для практической реализации автономной группы БЛА, необходимо наличие следующих подсистем:

1) подсистема хранения информации – в общем случае представляет собой кластер постоянных запоминающих устройств (SSD-накопители, энергонезависимая MRAM память) необходимых для хранения частично обработанных (фильтрованных) данных, предназначенных для анализа [2]. Подсистема должна обладать способностью самостоятельно принимать решение о дальнейшем хранении критичной для ситуационной осведомленности информации либо о ее выгрузке (стирании) в случае устаревания или малозначимости. Подобный принцип работы способна обеспечить архитектура объектного хранилища типа S3, в которой предоставляется возможным настроить жизненные циклы данных – их удаление или перемещение в другое хранилище через определенное время [3]. Основные требования, предъявляемые к подсистеме: низкое энергопотребление и устойчивость к перепадам температур; обеспечение аппаратного шифрования данных для защиты от перехвата; динамическое распределение ресурса при изменении состава группы.

В перспективе рассматривается применение энергоэффективных нейроморфных чипов, позволяющих хранить и обрабатывать информацию в единой системе память-процессор по принципу работы биологических нейронных сетей [4].

2) подсистема обработки данных – предназначена для формирования картины обстановки на основе данных разных типов и построения моделей поведения ключевых объектов. Существует несколько структур обработки данных, применимых для реализации вычислений в группе БЛА. Одна из широко используемых – это структура распределенной обработки данных. В общем случае она представляет собой совокупность вычислительных устройств (серверов) потребительского уровня, где каждое устройство способно обрабатывать данные ближе к источнику их генерации. Применительно к БЛА такая структура позволит выполнять предварительный анализ («фильтрацию» шума, детекцию объектов) локально, а затем передачу ключевых события (например, координаты целей) другим участникам группы [5]. Другой архитектурой является структура гибридной распределенно-централизованной обработки данных, которая реализуется при помощи комплекса технологий, обеспечивающих доступ к вычислительным ресурсам по требованию. Суть распределенно-централизованной обработки данных в предоставлении большей части аппаратных и программных ресурсов наиболее ключевому элементу группы БЛА (например, разведывательному) для организации выполнения ресурсоемких вычислений с последующей передачей результатов остальным участникам группы. Основные требования, предъявляемые к подсистеме: минимизация задержек в передаче результатов; масштабируемость на группы до десятков аппаратов; возможность переназначения нагрузки с одного БЛА на аналогичный при выходе из строя.

Помимо описанных структур, в научном сообществе наблюдаются тенденции в развитии пространственно-сетевых систем обработки данных. Так, в работе [6] рассмотрен способ организации вычислений в группировке (группе, кластере, рое) с применением бортовых вычислителей БЛА, объединенных в единое вычислительное поле, что в результате исследований позволило увечились удельную вычислительную производительность группировки БЛА, повысить отказоустойчивость бортовых вычислителей и снизить сложность управления группировкой.

3) подсистема передачи данных – предназначена для обмена между участниками группы как «сырыми» сенсорными пакетами данных, так и отфильтрованными метаданными (ключевые признаки, оценки уверенности, сценарии). Ключевыми механизмами подсистемы являются возможность перестройки на свободные каналы при подавлении используемого частотного диапазона и

использование архитектур ad-hoc (таких, как самоорганизующиеся сети на основе беспилотных летательных аппаратов – FANET) для самоконфигурирования маршрутов передачи данных между БЛА и организации эффективного обмена данными [7]. Основные требования, предъявляемые к подсистеме: устойчивость к активному использованию средств РЭП (использование псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ) и метода расширения спектра методом прямой последовательности); минимальная задержка и гарантированная доставка критичных команд; децентрализованное управление каналами [8].

### 3. Реализация ударно-разведывательной группы автономных БЛА

С учетом вышесказанного, предлагается следующее решение задачи построения системы обеспечения ситуационной осведомленностью разведывательно-ударной группы автономных БЛА.

Состав группы следующий:

- 1 разведывательный БЛА самолетного типа;
- 3 ударных БЛА коптерного типа.

Разведывательный БЛА выполняет патрульную съемку местности (этап 1). «Сырые» результаты съемки поступают в локальную подсистему обработки данных с целью проведения предварительного анализа. При обнаружении искомой цели, необходимые результаты съемки сохраняются в подсистему хранения информации, а затем передаются ударным БЛА совместно с координатами цели и оценкой типа цели (этап 2).

Исходя из полученных данных о цели, каждым БЛА определяется собственная вероятность поражения цели, которая в данном случае может быть представлена следующим образом:

$$d_k = f(c, t, e), \quad (1)$$

где  $d$  – вероятность поражения цели  $k$ -ым БЛА –  $[0,1]$ ,

$c$  – координаты цели,

$t$  – тип цели (техника, пехота, фортификационное сооружение и т.д.),

$e$  – текущий запас энергетического ресурса.

Затем, между БЛА происходит обмен значениями вероятности поражения (этап 3). Передача значения вероятности поражения производится между ударными БЛА, которые выступают в качестве элементов ad-hoc-сети, тем самым повышая скорость передачи и сокращая время, необходимое для принятия решения, после чего эти значения сравниваются. На основании этого сравнения принимается решение о наиболее эффективном целераспределении, затем целевому БЛА назначается полетное задание.

Приступив к выполнению полетного задания (этап 4), БЛА в течение всего возможного времени выполнения задания выполняется передача полетных данных, состав которого может быть представлен в виде кортежа  $U_k(t)$ :

$$U_k(t) = \{i(t), m(t), l(t)\}, \quad (2)$$

где  $i(t)$  – текущее местоположение БЛА в пространстве, представляется в виде последовательности точек, описываемых ГНСС-координатами или относительными координатами,

$m(t)$  – метаданные (отчеты о состоянии БЛА),

$l(t)$  – последовательность изображений с устройства видеофиксации.

Наглядная схема решения данной задачи представлена на рисунке 1.

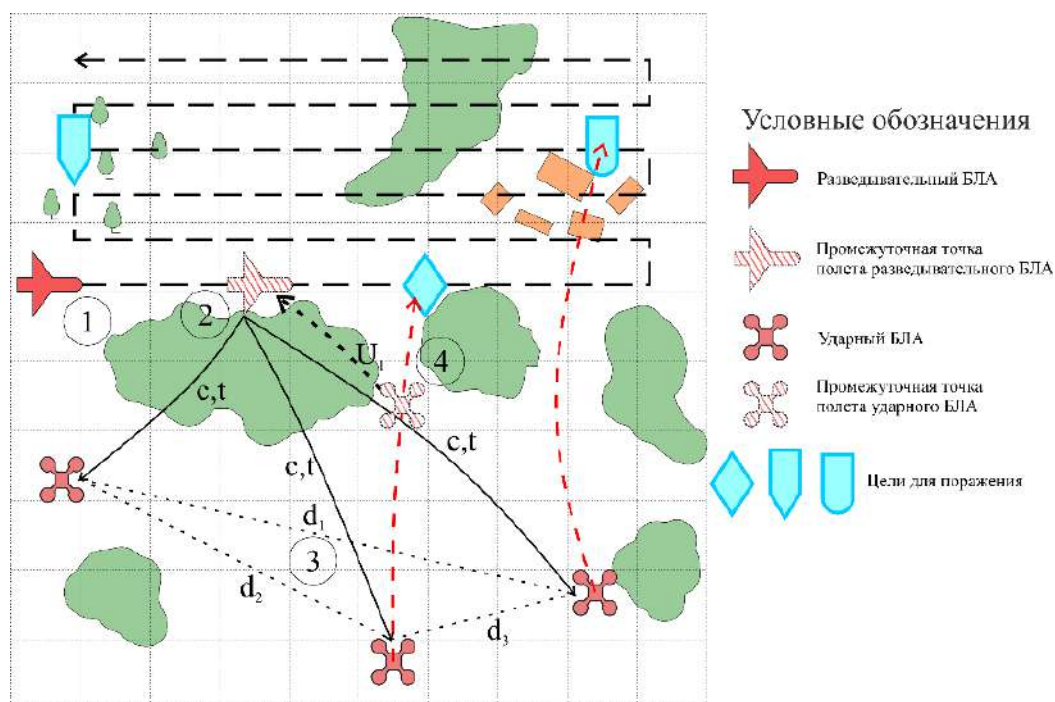


Рис. 1. Графическое изображение последовательности решения задачи разведывательно-ударной группой БЛА

Для выполнения вышеперечисленных задач необходимо обеспечить требуемую пропускную способность системы связи. Так, для передачи видеопотока высокого качества (1080p, 30 fps), требуется обеспечить пропускную способность канала связи в районе 5-10 Мб/с для передачи видеопотока объемом 10-20 Мб длительностью до 5 секунд. Для передачи файлов с единичными изображениями потребуется 3-8 Мб трафика в зависимости от качества изображения. Текстовые данные, метаданные и данные на уровне управляющих команд не так требовательны к пропускной способности канала связи ввиду того, что их объемы пренебрежительно малы по сравнению с фото- и видеоданными. Для передачи сообщения с содержанием координат цели потребуется от 1 до 5 Кб, пакет команд для группы БЛА – до 1 Мб.

В таблице 1 представлено поэтапное выполнение задачи и ориентировочное количество хранящейся, анализируемой и передаваемой внутри группы БЛА, информации.

Таблица 1. Состав информации ситуационной осведомленности и ее объем

№ этапа	Действие	Состав информации	Объем, Мб
1	Патрульная съемка	Сырые данные с камер (непрерывный длительный видеопоток), данные с внешних сенсоров	Порядка сотен мегабайт
2	Предварительный анализ	Координаты объектов, оценка типа объектов, 3-5 файлов с изображением цели	До 10 Мб
3	Согласование целей и назначение целевого БЛА	Метаданные, содержащие информацию о вероятности поражения цели каждым из БЛА, команда о принятии задачи конкретным БЛА	До 5 Кб
4	Контроль выполнения	Кортеж полетных данных (текущие координаты ударного БЛА, метаданные, последовательность изображений с камеры)	В зависимости от степени реализации функции объективного контроля выполнения задачи может потребоваться передать до 100 Мб данных

#### 4. Заключение

Тенденция применения беспилотной авиации и технологий искусственного интеллекта приводят к выводу о том, что в близлежащей перспективе станет необходимым описание облика распределенных вычислений на борту автономного БЛА, а также организации связи с применением самоорганизующихся архитектур. Современная вычислительная аппаратура и средства связи позволят реализовать взаимодействие внутри группы автономных БЛА для эффективного решения ряда военно-технических задач.

Описанный пример построения системы ситуационной осведомленности для автономной группы БЛА, выполняющей разведывательно-ударные действия, является одним из способов повышения эффективности применения такого рода групп в условиях противодействующей среды. Распределенные вычисления и применение защищенных и адаптивных каналов связи являются ключевыми факторами обеспечения автономности группы БЛА и ее корректного функционирования. В дальнейшем планируется исследование методов построения систем ситуационной осведомленности групп автономных БЛА, предназначенных для решения широкого спектра военно-технических задач.

#### Литература

1. *Endsley M.R.* Toward a theory of situation awareness in dynamic systems // *Human Factors Journal*. – 1995. – Vol. 37. – P. 32–64.
2. *Wang Y., Su Z., Xu Q.* A secure and intelligent data sharing scheme for UAV-assisted disaster rescue // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. – 2023. – Vol. 31, № 6. – P. 2422–2438.
3. Как правильно использовать S3-хранилища: гайд для начинающих. <https://tproger.ru/articles/kak-pravilno-ispolzovat-s3-hranilishha--gajd-dlya-nachinayushhih> (дата обращения 31.08.2025).
4. Российский нейроморфный процессор: что это и почему он важен? <https://habr.com/ru/companies/sberbank/articles/916878/> (дата обращения 31.08.2025).
5. *Xia X., Fattah S.M.M., Babar M.A.* A survey on UAV-enabled edge computing: resource management perspective // *ACM Computing Surveys*. – 2023. – Vol. 56, № 78. – P. 1–36.
6. *Кутахов В.П., Алакоз Г.М., Пляскота С.И.* Особенности организации вычислений в задачах управления группировками воздушных и космических аппаратов // *Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2024): труды Семнадцатой междунар. конф.* – М.: ИПУ РАН, 2024. – С. 843–850.
7. *Кулагин Г.И.* Анализ особенностей и методов определения маршрутов доставки данных в беспроводных самоорганизующихся сетях на основе беспилотных летательных аппаратов // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*. – 2023. – № 1 (142). – С. 60–82. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2023-1-60-82>.
8. *Phadke A., Medrano F.A.* Towards resilient UAV swarms // *Drones*. – Vol. 6, № 11. – P. 340.