

Всероссийский конкурс учебно-исследовательских работ старшеклассников  
по политехническим, естественным, математическим дисциплинам для  
учащихся 9-11 классов

## **Разработка системы командного взаимодействия военных БПЛА**

Направление: Информатика и информационные технологии

Выполнил: Долгирев Владислав Дмитриевич,

г. Пермь, МБОУ «Лицей №1», 11 кл.

Руководитель: Грибов Дмитрий Сергеевич

Должность: аспирант каф. ММСП ПНИПУ

Пермь, 2018.

## Оглавление

Abstract .....	3
Введение.....	4
Глава I: Теоретическая часть .....	8
Цели и задачи .....	8
Использование дронов .....	9
Программа Gremlins. Эксперименты над роем дронов.....	9
Сценарии атаки дронов. Особенности ведения боя против вражеского роя.....	11
Восходящий и нисходящий подход к формированию роя. Преимущества и недостатки.....	13
Требования к эскадрилье БПЛА .....	14
Глава II: Практическая часть .....	15
Строение системы. ....	15
Локальная и глобальная система. ....	16
Первый этап работы системы. Формирование отрядов. ....	16
Второй этап работы системы. Распределение противников. Взаимодействие «Дрон-Дрон» .....	17
Работа системы при радиопомехах .....	18
Прототип системы.....	18
Заключение .....	20
Приложения .....	21
Список литературы.....	26

## **Abstract**

This research is devoted to the problem of the drone`s cooperation. The main subject of this research is a military drone.

The purpose of this work is to develop the military drone`s cooperation system and realize main algorithms of this system. All of this was used for its visualization.

To accomplish the task it was necessary to write the effective system on C-Sharp (C#) programming language, visualize the received algorithms and to conduct the numerical test for analyzing this system.

Unity 3D Game Engine, Unity IDE and MonoDevelop IDE were used to make the system. MonoDevelop was needed to write a code. Unity IDE and Unity 3D Game Engine is for the code compilation and visualizing.

As a result, the system and it`s visualization has been made and numerical tests have been conducted.

So, this system can be used for the effective target extermination without military casualties. Also, the system can be used for develop game`s Artificial Intelligence.

## Введение

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА, дрон, беспилотник) – летательный аппарат без экипажа на борту. Дроны обладают разной степенью автономности: от дистанционно управляемых до полностью автоматических. Также различаются по конструкции и ряду других параметров.

БПЛА предназначены для различных целей, но больше всего страны интересуются военными БПЛА. Заинтересованность в БПЛА складывалась исторически.

1933 год стал родоначальником всех дальнейших разработок. Именно в этот год, силами инженеров из Великобритании был разработан первый БПЛА, который был ещё и многократного использования. Проект получил название DH.82В «Queen Bee». Управлялся дистанционно с корабля. Использовался вплоть до 1943 года[2].

Мимо подобного новшества не смогли пройти мимо ни Германия, ни СССР, ни США. Так, Германия использовала управляемые бомбы Henschel Hs.293 и управляемые ракеты «Fritz X», которые успешно показали себя во время боевых действий в Средиземном море, однако они не пошли в массовое производство. В серийное производство пошли «самолёты-снаряды» «Фау-1».

США пошли по стопам Великобритании и запустили в массовое производство беспилотники «Radioplane QQ-2», которые использовали как самолёты-мишени. Более того, за время Второй Мировой, фирма Radioplane создала для ВВС США почти 15 тысяч подобных БПЛА, в том числе модели QQ-3 и QQ-14. Однако наиболее успешной разработкой США можно считать беспилотный ударный бомбардировщик Interstate TDR-1, который сравним лишь с Фау-1 и может считаться первым в мире беспилотным летательным аппаратом подобного типа и специализации. По 1944 год было выпущено

несколько модификаций TDR-1: XTDR-1, TDR-1, XTD2R-1, XTD3R-1, XTD3R-2, TD3R-1. Однако, несмотря на обилие модификаций, в серийный выпуск попали лишь сам TDR-1 – более 180 штук и TD3R-1 – заказ в 40 штук, который, впрочем, позже был отменен[1].

Несмотря на то, что после Второй Мировой войны БПЛА так или иначе активно использовались лишь США и СССР, на данный момент ведущим лидером в разработке и применении беспилотников считается именно США. Достаточно сказать лишь то, что в 2012 году беспилотные летательные аппараты, состоявшие на вооружении ВВС США, составили 7494 штук, в то время как пилотируемых аппаратов насчитывается почти 11 тысяч. Самыми известными беспилотными аппаратами считаются RQ-1 «Predator» и RQ-4 «Global Hawk»[13]

В данный момент по значимости развития технологий в данной сфере необходимо отметить не только США, но и Россию, Израиль, а так же Великобританию, расширившую свой парк беспилотных летательных аппаратов в марте 2014 года.

В данный момент военные доктрины многих стран, которые имеют беспилотники, подразумевают их использование в качестве разведчиков или штурмовиков, которые могут нести с собой ракеты с ГСН (Головка Самонаведения) или бомбы. Отметим плюсы и минусы использования беспилотников:

Преимущества над обычными ЛА:

- Низкая стоимость производства. Производство одного военного БПЛА стоит \$4,03 млн. (RQ-1 «Predator»), в то время как полноценный самолёт стоит \$146,3 млн. (F/A-22 «Raptor»)[13].

- Меньший расход топлива. RQ-4 «Global Hawk» может летать в радиусе 4445 км., при объёме топлива всего 8439 л. топлива. Для сравнения, F/A-22 «Raptor» летает на расстояние 2960 км.(Дальность с ПТБ(Подвесной Топливный Бак)), при объёме топлива 10512 л[13].
- Быстрое обучение операторов
- Высокая мобильность
- Данные отправляются в режиме реального времени
- Можно пожертвовать ради боевой задачи
- Уменьшение лётной эксплуатации в мирный период

Теперь рассмотрим недостатки:

- Низкая гибкость применения
- Высокая уязвимость систем связи
- Удручающие ЛТХ
- Низкая надёжность

В настоящее время конструкторские бюро пытаются создать полностью автономный БПЛА, способный выполнять задания без оператора: долетать до назначенной точки, распознавать и уничтожать цель, возвращаться. Во время разработки, конструктора столкнулись с проблемой – высокая уязвимость перед стандартными ЛА, при боевом столкновений, а также

невозможность полёта на сверхнизких высотах. Но если вторая проблема решается быстрыми темпами, то первая проблема решается с трудом.

Также авиапромышленность столкнулась с необычной проблемой: конструкции современных самолётов выдерживают перегрузку в 27G, в то время как обычный пилот выдерживает перегрузку в 7G, а наиболее подготовленный в 11G.

Таким образом, конструкторские бюро пришли к выводу, что БПЛА необходимо делать на базе современных ЛА, так как, на данный момент, они, современные ЛА, не используются в полную силу, а для повышения боевой эффективности БПЛА необходимо научить их объединяться в группы, в которых они будут взаимодействовать между собой.

## Глава I: Теоретическая часть

### Цели и задачи

Актуальность проблемы:

Новые военные доктрины передовых стран подразумевают активное использование армий военных БПЛА, каждая из которых будет контролироваться оператором. Перед производителями военных БПЛА встала проблема организации такой армий, а именно взаимодействие дронов в такой армии.

**Цель работы:** Разработать эффективную систему распределения задач и реализовать основные алгоритмы данной системы.

**Основные задачи:**

1. Написать основные алгоритмы системы.
2. Визуализировать полученную систему.
3. Провести испытание данной системы и проанализировать её.

Содержательная постановка:

- Система должна отображать поведение роя, подчиняющегося иерархической структуре.
- Реализацией данной системы является программный прототип.

Концептуальная постановка:

1. Объектом исследования является искусственный интеллект дронов.
2. Дроны имеют систему СПО
3. Система автономна
4. Все действия происходят в плоскости



## Использование дронов

В армии БПЛА используются для выполнения множества задач. Прежде всего, это разведка. Большинство современных дронов созданы именно для этой цели. В последние годы появляется все больше ударных беспилотных аппаратов. В отдельную группу можно выделить дронов-камикадзе. БПЛА могут вести радиоэлектронную борьбу с противником, служить в качестве ретранслятора радиосигнала, давать целеуказания артиллерии. Используют дронов и в качестве воздушных мишеней[9].

Роевой интеллект – коллективное поведение самоорганизующейся децентрализованной системы[11].

Рой автономных дронов можно использовать для выполнения таких задач, как уничтожение противника на заданной территории, перехват крылатых ракет или воздушных судов условного противника.

### Программа Gremlins. Эксперименты над роем дронов

В данный момент, министерство обороны США проводит испытания роя автономных, предназначенных для радиоэлектронного и огневого подавления вражеских средств ПВО и ударов по позиционным районам наступательного оружия вероятного противника. Об этом заявил руководитель некогда одного из самых секретных подразделений Пентагона, управления стратегических возможностей - Уильям Ропер. «Они одноразового действия, летят на предельно малых высотах и могут быть использованы в том числе и как средство разведки. Вы можете иметь множество этих мини-дронов, причем ровно столько, сколько вам необходимо для выполнения боевой задачи в данном конкретном случае. Большое количество БЛА создает немалые преимущества перед противником. Он будет вынужден вкладывать в свою оборону гораздо

больше средств и времени, чтобы надежно защитить себя от подобных роев», — объяснил Ропер.

Уильям Ропер уточнил: малоразмерные дроны могут быть без затруднений запущены с борта самолета-носителя.

Такие машины могут находиться в некоем подобии кассеты на борту истребителя или бомбардировщика и отправляться пилотом на выполнение боевой задачи одним нажатием кнопки. На многочисленных испытаниях в качестве носителей роя используются самолеты F-16 и F/A-18.

В США несколькими заинтересованными структурами организованы работы в данной области. В качестве примера можно привести программу LOCUST управления военно-морских исследований (ONR), а также проект агентства DARPA Gremlins.

Проект Gremlins, названный так в честь вымышленных существ — гремлинов, предполагает создание небольших беспилотных летательных аппаратов, способных объединяться в стаи и совместно выполнять различные задания. Предполагается, что «гремлинов» будут запускать с бомбардировщиков B-52 Stratofortress и B-1B Lancer и транспортных самолетов C-130 Hercules/Super Hercules с высоты 12,2 тысячи метров.

Пока речь идёт о ведении ими разведки и радиоэлектронном подавлении целей. Они будут подлетать к объектам противника как можно ближе и при одновременном массовом применении «забивать» каналы ПВО. Вопрос о боевом применении «гремлинов» на данном этапе не ставится (возможно, пока о нём открыто предпочитают не говорить). Выполнив свою миссию, «гремлин» должен возвратиться к носителю, где специальным оборудованием возвратится на борт самолёта-«матки».

Военные специалисты провели несколько сот симулированных испытаний с целью изучения того, как система ПВО/ПРО Aegis, дополненная шестью крупнокалиберными пулемётами, и два зенитных артиллерийских

комплекса Phalanx отреагируют на внезапное нападение 5 – 10 дронов, атакующих военное судно с разных направлений. Из-за миниатюрного размера БПЛА радары даже в условиях хорошей видимости фиксировали их приближение лишь на крайне малом расстоянии: менее двух километров. При скорости дронов около 250 км/ч, максимальное время на удар после обнаружения цели радаром составляло 15 секунд. Системы радиоэлектронного подавления Aegis никаким образом не могли повлиять на систему управления БПЛА. По причине малого расстояния Aegis не мог атаковать обнаруженные цели при помощи ракет-перехватчиков или 127-мм пушки. Уничтожить дроны можно было только на близком расстоянии при помощи пулемётов и комплексов Phalanx.

Было подсчитано, что в среднем 2,8 из 8 дронов полностью «проскакивали» самую «продвинутую» оборону. После переориентировки систем на максимальное противодействие «рою» дронов – путём обновления сенсоров и увеличения числа комплексов Phalanx и пулемётов – приведённый выше показатель уменьшился до 1 из 8. Если количество атакующих БПЛА возрастёт до нескольких десятков, самые современные американские системы, при максимальной подготовке под эту конкретную задачу, уничтожат лишь около семи дронов – из числа первых, приблизившихся к кораблю[10].

Данные испытания показали, что рой автономных дронов способен эффективно выполнять задачи поддержки основных войск.

### **Сценарии атаки дронов. Особенности ведения боя против вражеского роя.**

Ниже приведена эскадрилья из следующих дронов:

- Разведывательный БПЛА
- Ударный (Штурмовой) БПЛА
- БПЛА превосходства в воздухе
- БПЛА с РЭБ

Ниже приведён примерный сценарий атаки на вражеское укрепление, состоящее из ПВО, танковых и пехотных соединений:

1. Разведывательные БПЛА, БПЛА превосходства в воздухе и БПЛА с РЭБ следуют к условной вражеской позиции.
2. Разведывательные БПЛА сканируют местность. С помощью тепловизора или иного прибора они получают данные о вражеских единицах: их кол-во, расположение, тип - путём картографирования местности они получают ландшафт данной местности.
3. БПЛА с РЭБ создают помехи для ПВО противника, а также получают их координаты.
4. БПЛА превосходства в воздухе, тем временем, охраняют остальных дронов от налёта вражеских истребителей.
5. Получив координаты ПВО, Ударные БПЛА выпускают ракеты, которые уничтожают ПВО.
6. Расчистив себе путь и устранив все возможные угрозы, Ударные БПЛА начинают атаку на наземные единицы.

Рой дронов способен выполнять сложные задачи. Имея систему командного взаимодействия, эффективность выполнения задания может возрасти в разы.

Бой между дронами имеет некоторые особенности. В этом случае есть несколько факторов, которые будут существенно влиять на исход сражения:

- БПЛА должен иметь более быстросрабатывающую программу, чем у противника.
- Он должен знать приёмы высшего пилотажа, а также знать методы противодействия оным.
- Эскадрилья дронов должна иметь более совершенную систему командного взаимодействия, чем у противника.

## Восходящий и нисходящий подход к формированию роя. Преимущества и недостатки.

Существует несколько подходов формирования роя: нисходящий и восходящий. Восходящий подразумевает формирование роя из множества отдельных БПЛА в одну большую группу. В данном подходе один дрон взаимодействует со всеми. Нисходящий подход работает иначе: целый рой делится на более мелкие структурные единицы (*Приложение 2*). Дроны взаимодействуют между собой только внутри данных структурных единиц (*Приложение 1*).

У восходящего подхода есть ряд проблем. Во-первых, отсутствует возможность гибкого использования тактик, что очень сильно может отразиться на боевой эффективности роя. Во-вторых, взаимодействие одного дрона с целым роем может негативно сказаться на быстродействии искусственного интеллекта беспилотника, что повлечёт за собой снижение боевой эффективности. В-третьих, примитивность выполняемых задач. В-четвёртых, системе будет крайне сложно взаимодействовать со всеми беспилотниками одновременно. В итоге, восходящий подход не подходит для создания роя БПЛА.

Принцип нисходящего подхода заключается в том, что целый рой делится на более мелкие структурные единицы, называемые звеньями. Как правило, звено включает в себя до 8 боевых единиц. Это позволит снизить нагрузку не только на саму систему, но и на ИИ дрона. Деление на звенья даёт возможность использования разнообразных тактик. Дрону необходимо будет взаимодействовать только с теми беспилотниками, которые находятся внутри звена. Также, управление более малыми структурными единицами намного проще, чем управление каждым дроном в отдельности. Исходя из этого, звено будет выполнять задания эффективнее, чем если бы эту задачу выполнял целый рой.

Нисходящий подход имеет существенные преимущества перед восходящим подходом, но имеет существенный недостаток: сложная реализация.

### **Требования к эскадрилье БПЛА**

В конечном итоге, складываются следующие требования к эскадрилье БПЛА, чтобы она смогла гарантированно уничтожить любого условного противника:

- Характеристики БПЛА должны соответствовать характеристикам обычных самолётов.
- Код программы ИИ беспилотника должен быть быстрым.
- У эскадрильи должно быть хорошее командное взаимодействие.
- БПЛА должны иметь хорошее вооружение.
- Дроны должны иметь хорошие РЛС, а также средства РЭБ.

## Глава II: Практическая часть

### Строение системы.

Система взаимодействия представляет из себя совокупность двух систем: локальная и глобальная (Рис.1). Локальная система – система, которая связывает ИИ дрона с Глобальной системой. Локальная система также отвечает за взаимодействие «Дрон-Дрон». Глобальная система – система, предназначенная для непосредственного управления всеми дронами.

Данное разделение необходимо для расстановки приоритетов приказов. Так, приказ локальной системы ниже по приоритету, чем приказ глобальной системы. Данное разделение также необходимо для стабильной работы всей системы и возможности усовершенствования.

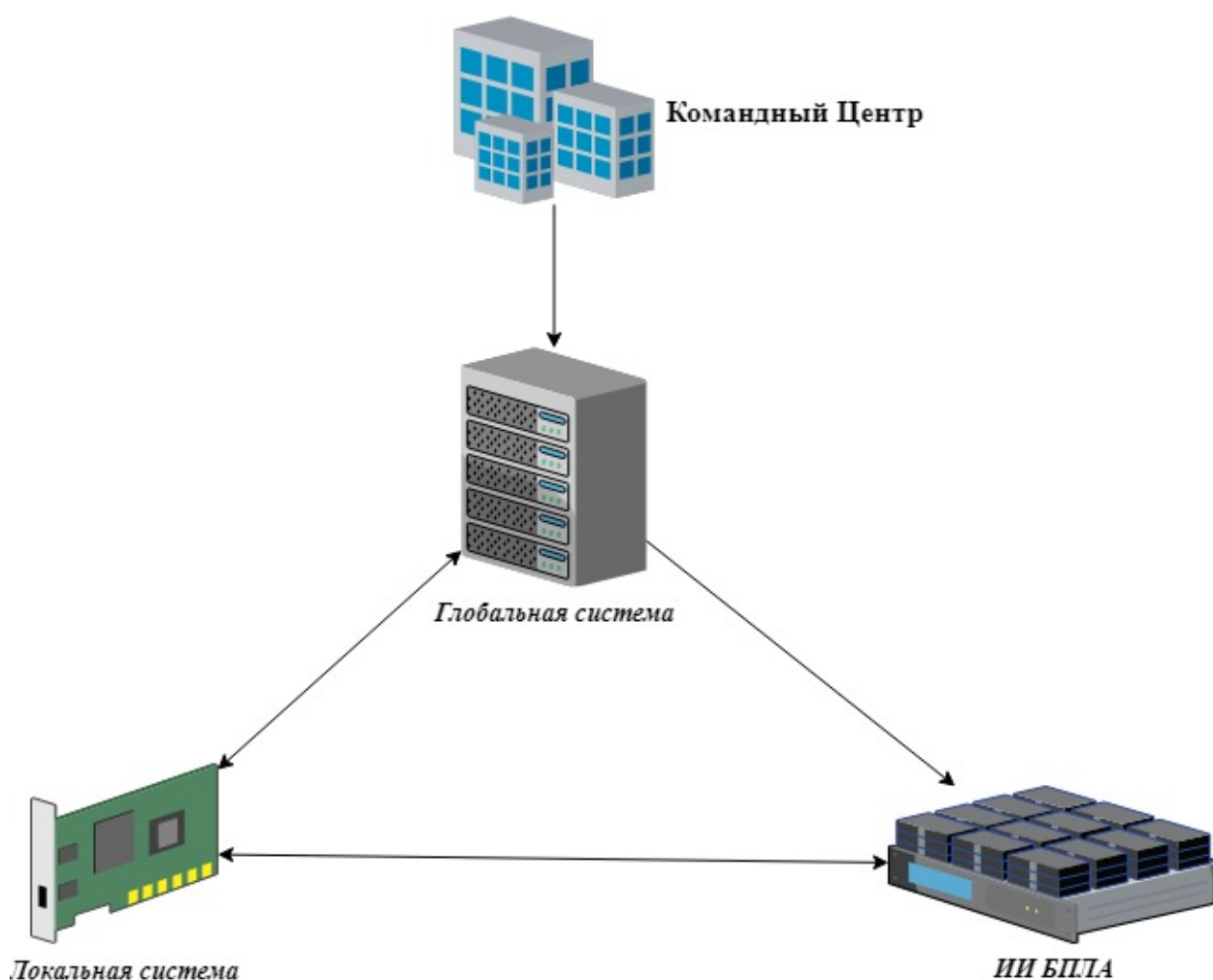
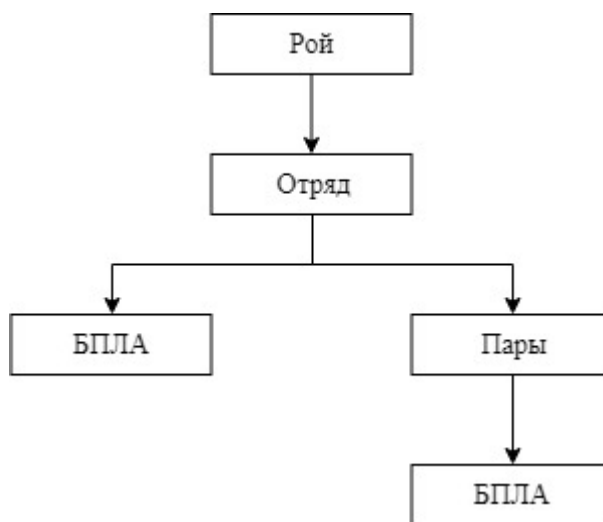


Рис.1: Структура системы

### **Локальная и глобальная система.**

Локальная система является связующим звеном, между ИИ дронов и системой. Система обрабатывает приказы, которые отдаёт глобальная система, генерирует определённые запросы для глобальной сети. Данная система также позволяет дрону скооперироваться с дронами, которые находятся в отряде или паре, для более эффективного выполнения задания. Сам дрон не может обращаться напрямую к глобальной системе.

Глобальная система является центром управления и базой данных. В ней хранится информация о союзных дронах, сражении и т.д. Данная система отслеживает действия дронов, изменение боевой обстановки в режиме реального времени. Роль центра управления она осуществляет путём раздачи приказов дронам.



*(Рис.2): Иерархия системы*

### **Первый этап работы системы. Формирование отрядов.**

Для того, чтобы система начала работать, командный пункт должен отправить приказ системе. Приказ содержит координаты боевой зоны, размер



боевой зоны, тип задачи, количество дронов. Количество дронов каждого типа для определённой задачи фиксировано:

- Уничтожение целей на заданной территории
  - Дроны-Истребители – 50%
  - Дроны-Штурмовики – 40%
  - Дроны-Разведчики (Дроны-ППВО) – 10%

Данное распределение гарантирует то, что каждому дрону вспомогательного типа, для защиты, будет присвоен дрон-истребитель.

- Уничтожение воздушных целей
  - Дроны-Штурмовики – 100%
- Разведка
  - Дроны-Разведчики – 100%

Проценты требуемых дронов указаны относительно кол-во дронов, входящих в приказ.

Приказ поступает в глобальную систему, где обрабатывается (*Приложение 1*). По окончании обработки, дроны начинают своё движение к указанным координатам.

Перед вылетом роя к боевой зоне, идёт формирование отрядов для работы локальной системы. Отряды могут содержать 4 дрона, причём распределение по отрядам идёт таким образом, что в каждом отряде может находиться лишь 2 дрона одинакового типа (4, если приказ подразумевает использование только одного типа дронов). То есть нельзя создать отряд, состоящий из 3-х и более дронов одинакового типа.

## **Второй этап работы системы. Распределение противников.**

### **Взаимодействие «Дрон-Дрон»**

Когда один из дронов пересекает границу боевой зоны, начинается распределение противников. Если противников оказывается меньше, тогда создаются пары из, одинаковых по типу, дронов, состоящих в одном звене.

Если в зону боевых действий прибывают вражеские подкрепления, то проходит переопределение целей.

Локальная система – связующее звено между двумя дронами. Через данную систему проходят запросы, которые создают дроны. Это может быть запрос о возврате на базу, запрос о выдаче новой цели, если текущая уничтожена. Но главное назначение данной системы – формирование и обработка запросов поддержки. Если дрон находится под угрозой уничтожения, то он отправляет соответствующий запрос в локальную систему. Локальная система собирает информацию с авионики дрона. Если угроза состоит в том, что кончаются ресурсы, то запрос отправляется в глобальную сеть. Если же угроза исходит от вражеского дрона, то запрос отправляется в локальные системы других дронов, состоящих в отряде. Когда дрон получает данный запрос, он немедленно переключается на защиту атакованного союзника.

### **Работа системы при радиопомехах**

Система может работать и при радиопомехах. При помехах дроны теряют связь с глобальной системой, но локальная система остаётся работающей. В этом случае, дроны до конца выполняют текущую задачу и летят в сторону аэродрома. В это время дроны-ППВО ищут источник помех и стараются его уничтожить. Вылетев из зоны действия помех, дроны ожидают приказа от глобальной системы. Глобальная система ожидает соединения с дронами-ППВО, и, если связь восстановлена, то она отдаёт новые приказы.

### **Прототип системы**

Прототип системы выполняется на языке C# и визуализируется в игровой среде Unity. При создании прототипа использовались следующие гипотезы:

На данный момент, в прототипе реализованы следующие возможности системы:

- Система взаимодействия «Дрон-Дрон»
- Распределение целей
- Взаимодействие глобальной сети с дронами

Было произведено шесть тестов производительности на следующей конфигурации компьютера:

CPU: Intel Core i3-2120, 3.3GHz

RAM: Kingston HyperX HX316C10F\*K2/8, DDR3, 1600 MHz

Тесты показали следующие результаты:

Эксперимент	Параметры		
	Время обработки	Использование памяти	Загруженность CPU
1 vs 3	0,05ms	8,4Mb	1%
4 vs 20	0,42ms	8,6Mb	3%
12 vs 250	1,42ms	9,1Mb	6%
40 vs 1000	8,36ms	16,4Mb	19%
120 vs 2000	16,75ms	16,9Mb	31%
2000 vs 10000	460ms (max = 2734ms)	113Mb	56%

Следует учитывать, что время обработки скриптов относится ко всем обрабатываемым скриптам, так как инструментарий Unity не предоставляет возможности отслеживания отдельных скриптов.

## Заключение

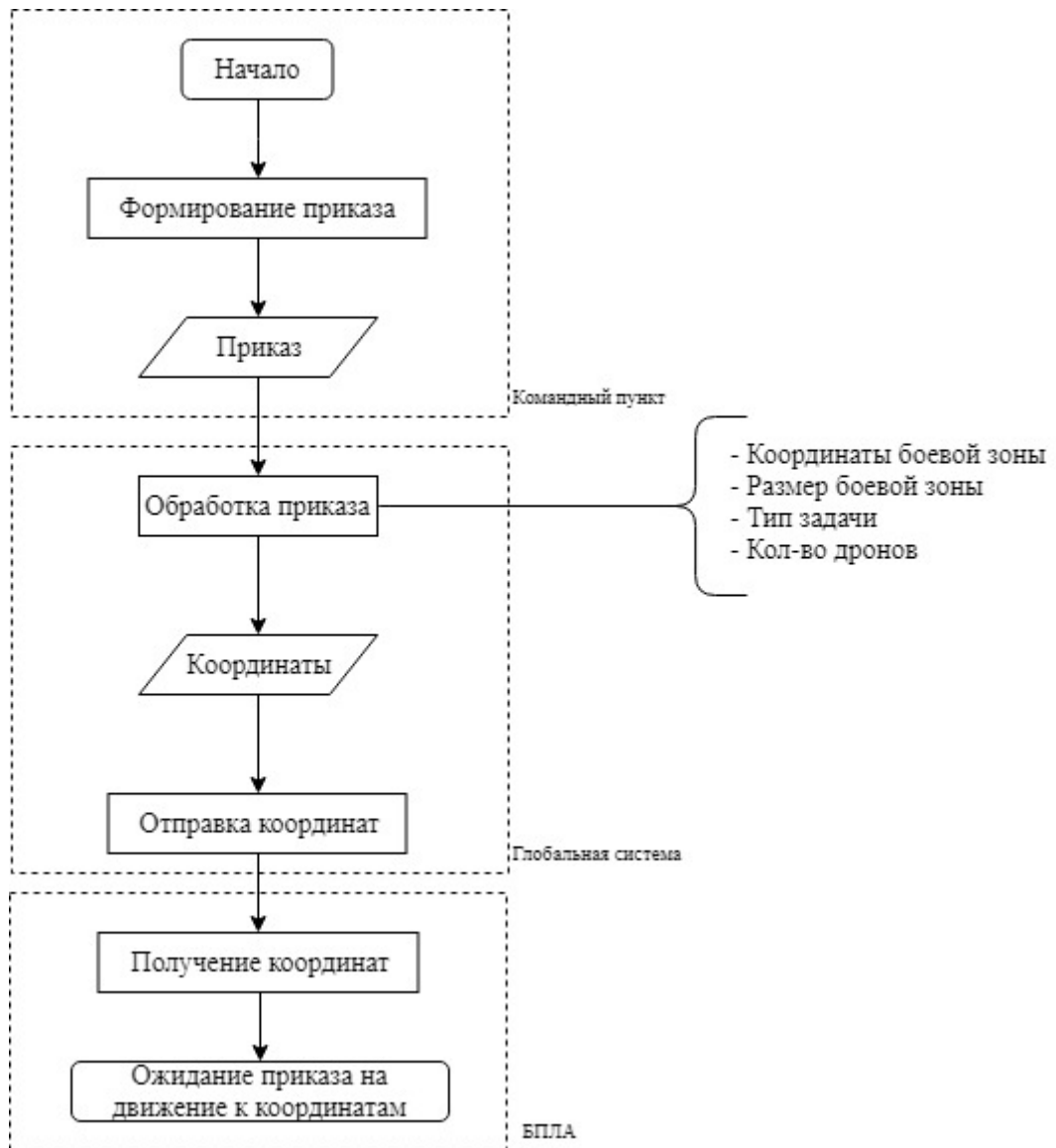
Распределение задач в системе командного взаимодействия, основанной на нисходящем подходе формирования роя, хорошо справляется с этим.

Полученный прототип показал примерную работу системы. В дальнейшем, данный прототип будет серьёзно улучшаться и дорабатываться. Однако существуют некоторые сложности, связанные с недоступностью информации о других системах военных БПЛА, включая основные используемые алгоритмы.

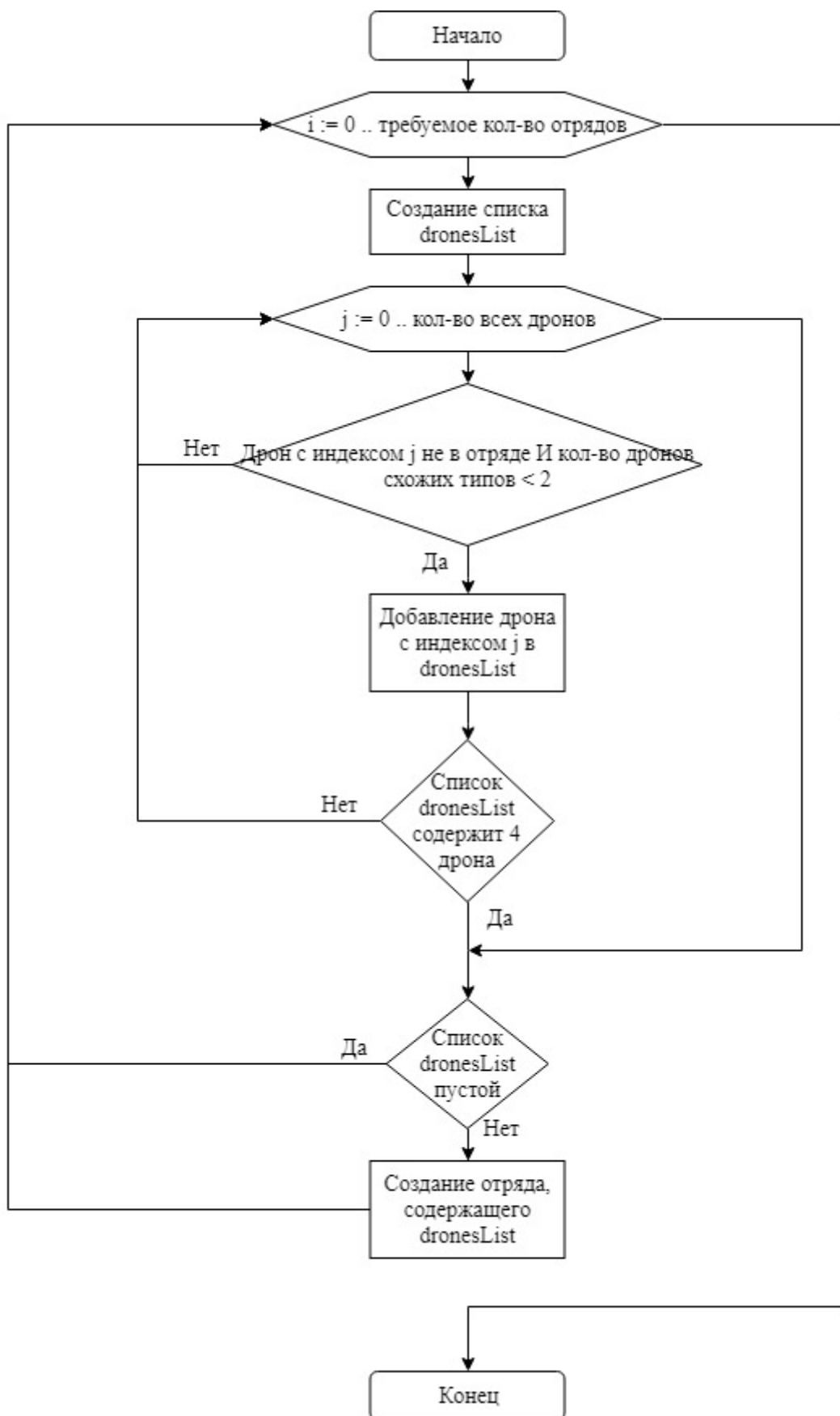
Данная система может использоваться не только в военной отрасли. Систему можно использовать в игровой индустрии и в спасательных, промышленных и логистических целях, написав соответствующий алгоритм.

## Приложения

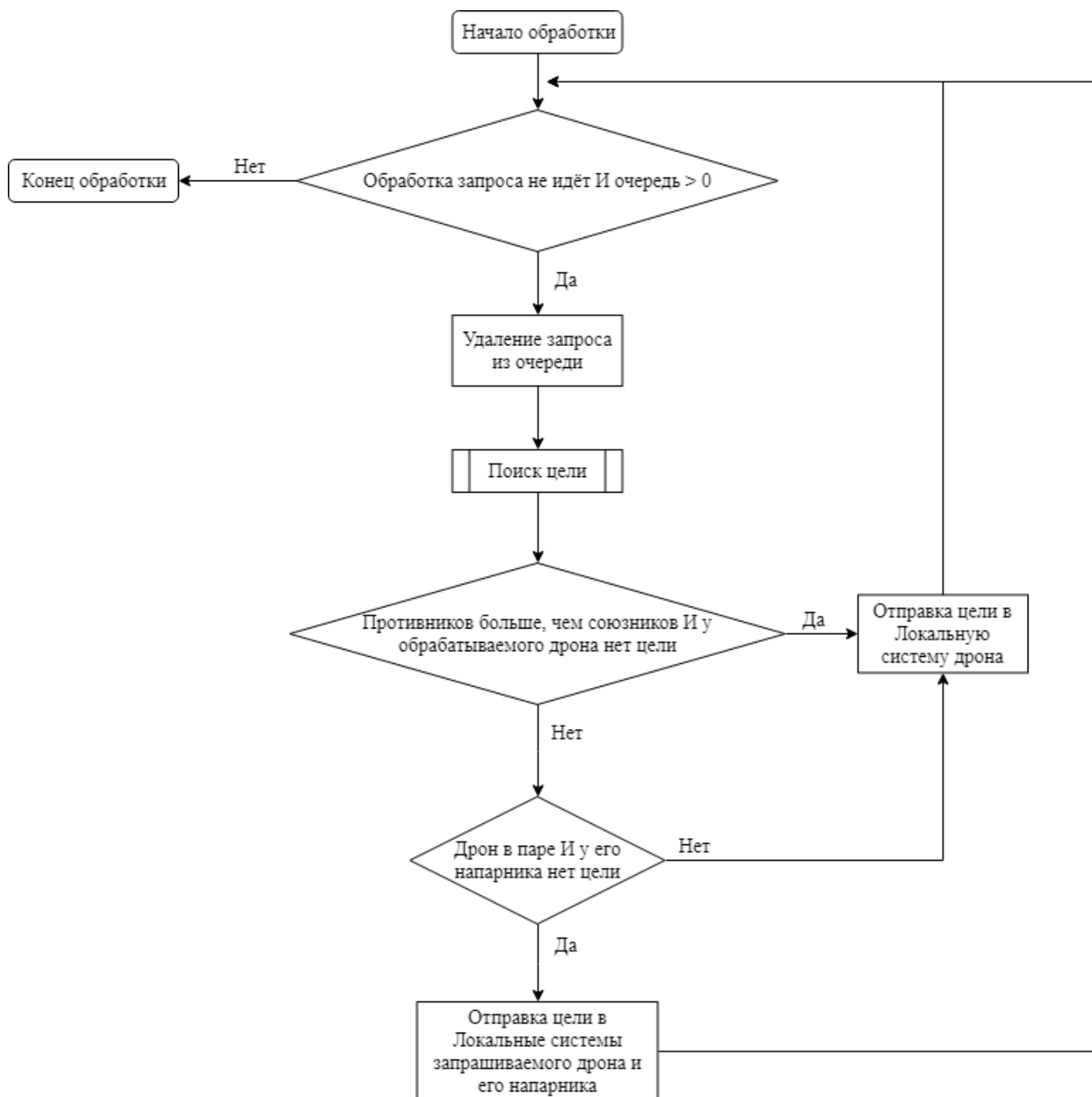
### Приложение 1: Формирование приказа к выдвигению



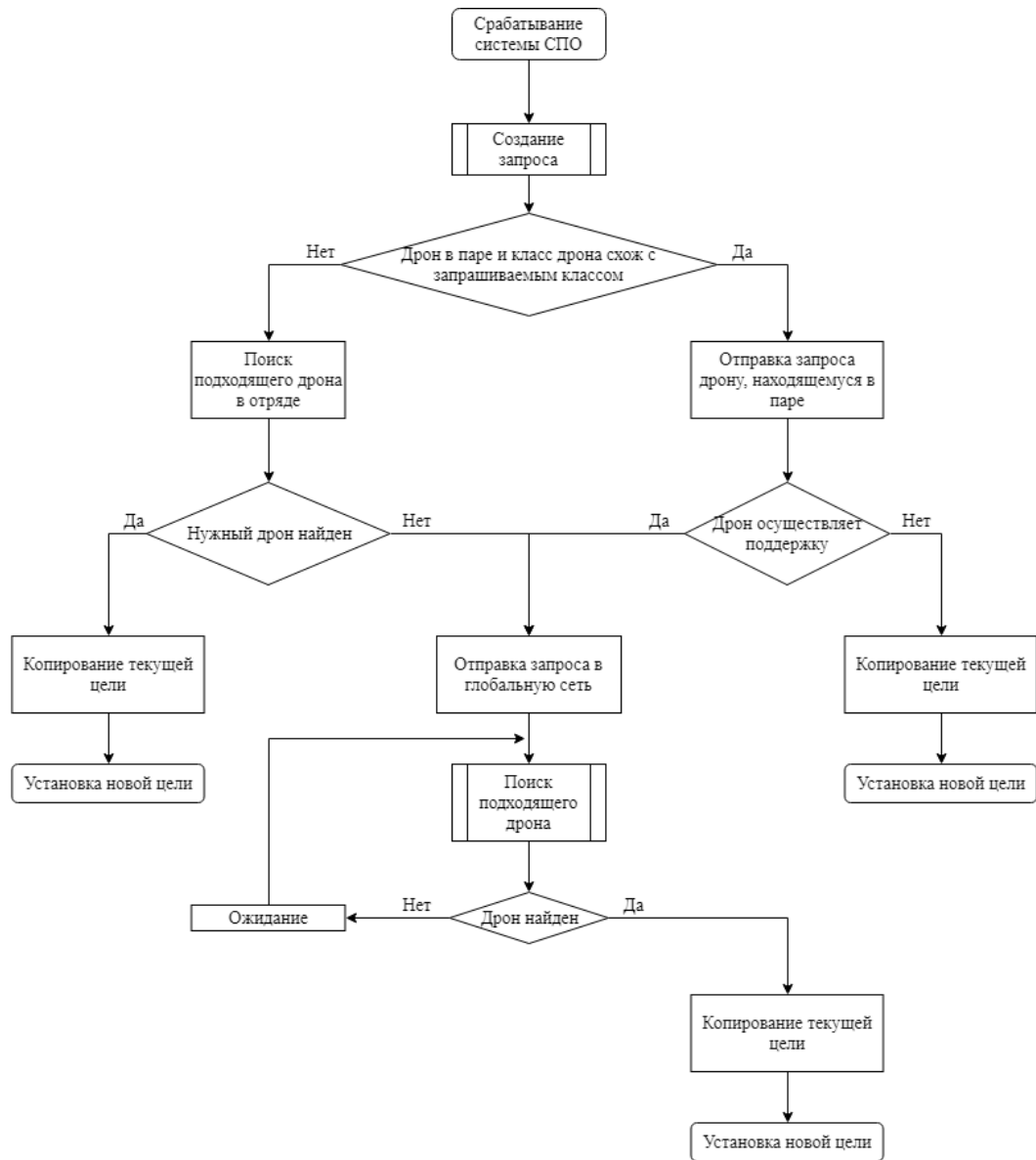
## Приложение 2: Формирование отрядов



### Приложение 3: Обработка запроса на цель в Глобальной сети



## Приложение 4: Формирование запроса поддержки

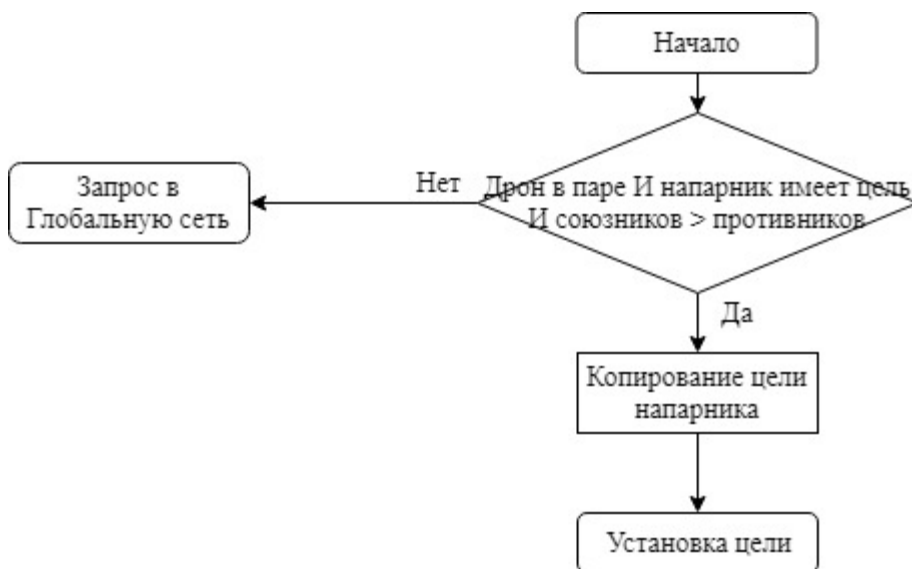




### Приложение 5: Обработка запроса на предоставлении цели



### Приложение 6: Запрос цели, если дрон находится в паре



## Список литературы

1. <http://www.sciencedebate2008.com/development-of-unmanned-aerial-vehicles/> - История развития беспилотных летательных аппаратов
2. <http://avia.pro/blog/bespilotnye-letatelnye-apparaty-drony-istoriya> - Беспилотные летательные аппараты
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Aviation\\_in\\_World\\_War\\_I](https://en.wikipedia.org/wiki/Aviation_in_World_War_I) - Авиация Первой Мировой Войны
4. [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_aviation](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_aviation) - История авиации
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_aerial\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle) - Беспилотные летательные аппараты
6. <https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/aviaciya/bespilotnye-letatelnye-apparaty/> - Беспилотные летательные аппараты
7. <http://www.computerra.ru/70714/uav-types-n-tactic/> - Боевое применение БПЛА
8. <http://www.dogswar.ru/forum/viewtopic.php?f=6&t=1548> – Боевое применение БПЛА
9. <https://topwar.ru/27536-boevoe-primenenie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov.html> - Боевое применение БПЛА
10. [https://en.wikipedia.org/wiki/Swarm\\_intelligence](https://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_intelligence) - Роевой интеллект
11. <http://cazarium.com/swarm-of-drones/> - Рой дронов Пентагона
12. <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/> - Теория алгоритма A\*
13. <http://www.airwar.ru/> - Авиационный справочник