Московский Авиационный Институт

(Национальный исследовательский университет)

Дипломная работа

**«Алгоритм оптимального целераспределения группы разнотипных БЛА в операциях нанесения удара по наземным объектам, обладающим разной значимостью»**

**Выполнил:** студент гр. 07-608

Мурашев Е.О.

**Руководитель:** доктор технических наук

проф. Евдокименков В. Н.

Москва 2014

**Содержание**

1. Основная часть. Актуальность развития методов и алгоритмов целераспределения для групп БЛА при решении ударно-разведывательных задач

1.1 Мировые тенденции развития беспилотных ЛА и перспективы их группового использования

1.2. Анализ целевых задач, составляющих область группового применения беспилотных ЛА

2. Специальная часть. Разработка алгоритма оптимального целераспределения для группы разнотипных беспилотных ЛА в операции нанесения удара по наземным объектам разной важности

2.1. Техническая постановка задачи

2.2. Математическая постановка задачи оптимального целераспределения разнотипных беспилотных ЛА по кластерам наземных объектов

2.2.1 Общий вид задачи

2.2.2 Выбор состава регулируемых переменных

2.2.3 Формирование компонент целевой функции в задаче оптимального целераспределения разнотипных беспилотных ЛА по кластерам наземных объектов

2.2.4. Формирование системы ограничений в задаче оптимального целераспределения разнотипных беспилотных ЛА по кластерам наземных объектов

2.2.5 Окончательный вид критериальной функции

2.3 Алгоритм решения задачи нелинейного целочисленного программирования  
2.3.1 Алгоритм направленного перебора, максимизирующий ожидаемый выигрыш  
2.3.2. Алгоритм направленного перебора, минимизирующий ожидаемые потери

2.4. Результаты математического моделирования алгоритма оптимального целераспределения разнотипных беспилотных ЛА по кластерам наземных объектов

2.4.1. Начальные условия моделирования  
2.4.2. Результаты моделирования

2.4.3. Выводы к результатам моделирования

3. Экономическая часть

4. БЖД

5.Выводы по работе

6.Список литературы

Введение

В настоящее время активно разрабатываюся различные парадигмы применения БЛА. Беспилотные аппараты применяются в интересах разведки, радиоэлектронной борьбы, а также в операциях нанесения удара по наземным целям. Актуальной темой является групповое применение БЛА против множественных наземных целей.

В последние годы широко применяется подход к задаче предполетного целераспределения как к задаче математического программирования, однако подавляющее большинство исследований не предполагает применение групп, состоящих из БЛА разного типа.

В этой работе задача предполетного целераспределения для групп разнотипных БЛА интерпретируется как задача нелинейного целочисленного программирования.

1. Основная часть. Актуальность развития методов и алгоритмов целераспределения для групп БЛА при решении ударно-разведывательных задач.

**1.1 Мировые тенденции развития беспилотных ЛА и перспективы их группового использования.**

В настоящее время наряду с совершенствованием пилотируемой авиации идет интенсивное развитие беспилотных летательных аппаратов (БЛА), разработкой и производством которых занимаются 49 государств. На текущий момент указанный сектор авиакосмического производства может рассматриваться как один из наиболее динамично развивающихся. Лидером в данной области являются США.

Все существующие и разрабатываемые БЛА подразделяются на три основных класса: стратегические, тактические и специального назначения. В каждом классе существует более детальная градация: по размеру, дальности действия, продолжительности и высоте полета, а также по характеру использования.

В табл. 1 приведены данные, полученные специалистами ВВИА им профессора Н.Е. Жуковского, отражающие выраженную в процентах степень замещения летчика современного боевого ЛА автоматом при выполнении различных полетных операций.

*Таблица 1*

*Степень замещения функции летчика автоматом*

|  |  |
| --- | --- |
| **Полетные операции** | **Степень замещения летчика автоматом**  **(%)** |
| Управление движением самолета в полете (выбор траектории, направления и режима полета) | **40** |
| Принятие решения на применение авиационных средств поражения | **80** |
| Действия в особых случаях полета при отказе бортовых систем | **12** |
| Вывод из опасного режима полета | **95** |
| Управление полетом при невозможности выполнения летчиком своих функций | **100** |
| Поиск, идентификация воздушной цели в условиях ближнего воздушного боя | **25** |
| Поиск, идентификация воздушной цели в условиях воздушного боя на средних и дальних дистанциях | **95** |
| Атака наземной (надводной) цели | **25** |
| Взлет, посадка, полет по маршруту | **45** |
| Боевое маневрирование, выбор маневра, уклонение от угрозы | **10** |
| Управление ЛА при повреждении планера, его систем, выдача рекомендаций | **5** |

Для того, чтобы практически реализовать те преимущества, которые достигаются в результате включения БЛА в состав смешанных тактических групп, разработчикам БЛ необходимо решить ряд задач технического и тактического характера:

- обеспечение требуемой степени живучести БЛА;

- оснащение БЛА радиоэлектронной аппаратурой согласно требованиям малой заметности. Собственные излучения являются сильными демаскирующими признаками, что повышает вероятность поражения БЛА (например, наводящимися на излучение ракетами);  
- обеспечение устойчивой связи с удаленными абонентами во время проведения радиоэлектронной атаки (собственные помехи могут привести к невозможности оперативной корректировки задач БЛА и срыву передачи разведывательной информации другим потребителям). Одной из возможных мер является повышение степени автономности аппарата. Линии связи должны быть защищены также и от воздействия средств РЭП со стороны противника;  
- обеспечение передачи больших объемов информации в реальном масштабе времени. Практически невозможно запрограммировать БЛА на все те изменения боевой обстановки, которые могут возникнуть в ходе выполнения целевой задачи. Решение о корректировке задач может быть принято оператором на станции управления, но для этого он должен получить исчерпывающую информацию об обстановке;

- обеспечение высокой степени надежности бортовых систем, поскольку от успешности применения БЛА зависит безопасность пилотируемых платформ. Кроме того, БЛА должны в значительной степени обладать свойствами автономности, чтобы функционировать в условиях временно потерянной или неустойчивой  
связи со станцией управления;

- достижение согласованности действий с экипажами пилотируемых летательных аппаратов.

Проведенный в данном разделе анализ современного состояния и перспектив развития БЛА однозначно указывает, что по своим техническим и функциональным возможностям они могут выступать в качестве эффективного дополнения к пилотируемым ЛА в составе смешанных тактических групп. Однако, преимущества, достигаемые в результате перехода к подобным смешанным тактическим группам ЛА проявляются по разному в зависимости от специфики конкретных целевых задач, на решение которых они ориентированы.

Учитывая это, в следующем разделе проводится анализ целевых задач, составляющих область возможного применения смешанных тактических групп ЛА, с целью выявления такого их ограниченного набора, при выполнении которых преимущества совместного применения пилотируемых и беспилотных ЛА проявляются в максимальной степени.

**1.2. Анализ целевых задач, составляющих область применения смешанных тактических групп ЛА.**

Важнейшим концептуальным моментом с точки зрения организации управления смешанной тактической группой ЛА является роль и место БЛА в боевых действиях будущего. По этому поводу среди военно-научных специалистов продолжается дискуссия. Часть авторитетных военачальников и авиационных командиров сомневаются, смогут ли БЛА, действующие в соответствии с формальной логикой, быстро ориентироваться в обстановке, отличной от ожидаемой, даже при наличии управляющих ими высококвалифицированных операторов. Не забывают сказать они и о малой эксплуатационной надежности таких аппаратов, сложности управления ими, особенно если в воздухе находится большое количество БЛА. Конечно, по мнению военного руководства, перспективные БЛА будут способствовать росту боевой мощи ВВС и может быть даже несколько потеснят пилотируемые самолеты, но в силу свойственных им недостатков их роль будет заключаться главным образом в том, чтобы обеспечивать боевые действия авиации и наносить удары по известным объектам противника в относительно несложной обстановке.

Другая, большая часть компетентных в вопросах строительства БЛА профессионалов утверждает обратное. В качестве аргументов приводятся возрастающий уровень потерь экипажей пилотируемых самолетов по мере развития систем ПВО, а с другой - еще непознанные возможности логики технических, технологических решений боевого применения БЛА, открывающие новые перспективы. При этом беспилотные аппараты всегда будут превосходить пилотируемые по маневренным характеристикам, которые не ограничиваются физиологическими возможностями экипажей, и весовым из-за отсутствия систем их жизнеобеспечения и защиты.  
Немаловажное значение приобретают и такие факторы, как относительно небольшая стоимость производства и отсутствие необходимости затрат на подготовку летного состава. Американские авиационные эксперты подсчитали, что ВВС США ежегодно расходуют на первоначальное обучение одного летчика около 2 млн долларов, а на поддержание уровня натренированности летного состава только тактических истребителей F-16 (около 2 тыс. человек) - 1 млрд. В этом контексте специалисты по безопасности полетов отмечают парадоксальный момент, суть которого сводится к такому тезису: «с ростом надежности авиационной техники увеличивается число авиационных происшествий из-за человеческого фактора». Указывается также на необходимость привлечения для обеспечения боевых действий авиации частей и подразделений дозаправки топливом, РЭБ, поиска и спасения экипажей и другие. Боевые БЛА считаются экономически выгодными по сравнению с крылатыми ракетами, каждая из которых стоит более 1 млн долларов и применяется лишь однократно.

То есть, как пилотируемые, так и беспилотные авиационные комплексы имеют собственные преимущества и недостатки. Учитывая это, большинство военных аналитиков считают, что в обозримом будущем должны активно развиваться и применяться как беспилотные, так и пилотируемые средства, дополняя друг друга в разумном сочетании в плане их боевых возможностей. При этом чем опаснее будет обстановка и больше степень риска для экипажей, тем острее будет ощущаться необходимость применения беспилотных летательных аппаратов. При определении места БЛА в смешанной авиационной группировке отмечается, что они могут включаться в боевые порядки авиации или следовать с некоторым опережением на дистанции, исключающей своевременный перенос огня зенитных средств по идущим вслед за ними пилотируемым ударным группам. При подходе к объектам БЛА надлежит первым произвести доразведку и обнаружение целей, а также подавление средств ПВО и нанести по ним удары маломощными боеприпасами до подхода пилотируемых самолетов с более мощными средствами поражения.  
 В результате проведенного выше анализа технических возможностей БЛА, обобщения накопленного опыта применения смешанных тактических групп ЛА и мнений специалистов по перспективам их использования можно выделить следующий приоритетный список целевых задач (рис. 1.7), упорядоченных по степени убывания того эффекта, который может быть достигнут в результате совместного применения пилотируемых и беспилотных ЛА.

**Использование групп БЛА для разведки и обнаружения целей в условиях ПВО**. При решении этой задачи на разведывательные БЛА в составе смешанной группы возлагается ведение глобального всепогодного наблюдения за потенциальным противником с последующей передачей разведывательных данных на наземные системы или пилотируемые ЛА.

К настоящему времени США и многие другие страны уже располагают большим парком разнообразных разведывательных аппаратов, которые, по мнению экспертов, хорошо зарекомендовали себя в военных конфликтах. Эволюция разведывательных БЛА во многом была обусловлена развитием пилотируемых самолетов-разведчиков, их разновидовой аппаратурой и решаемыми экипажами задачами. Например, на момент окончания корейской войны все разведывательные средства военно-воздушных сил подразделялись на стратегические и тактические. Стратегические разведывательные средства представляли собой переоборудованные транспортные самолеты и бомбардировщики. К тактическим средствам прежде всего относились истребители, оснащенные разведывательной аппаратурой. Тактические разведывательные самолеты решали задачи тактической и стратегической разведки. Например, самолеты F-5 вели разведку в интересах наземных подразделений, а также обеспечивали разведданными коалиционное авиационное командование при разработке планов нанесения бомбовых ударов.

Радиотехническая разведка (РТР) зарождалась как один из видов стратегической разведки в годы Второй мировой войны и оставалась в таком качестве до середины 50-х годов. К числу самолетов РТР принадлежал RB-50. Ситуация изменилась в период вьетнамской войны с появлением первых модификаций самолета RC-135, который обеспечивал данными тактической разведки ударные средства авиации.

После 1972 года с началом «холодной войны» и выдвижением на первый план стратегических задач перед ВВС США встала задача сдерживания потенциального противника. Объемы тактической разведки сократились - она велась лишь в ходе учений, а также боевых действий в Ливии и Гренаде.Операции «Щит пустыни» и «Буря в пустыне» в зоне Персидского залива (1990-1991) стали поворотным моментом в истории развития авиационных средств разведки и наблюдения в целом и самолета RC-135 в частности. С окончанием «холодной войны» исчезла необходимость ведения широкомасштабной стратегической разведки.  
В 1990 годах изменился характер задач, выполняемых самолетами RC-135 «Ри-вет Джойнт». К 1999 году 53 проц. их боевых вылетов совершались в интересах наземных подразделений и лишь 13 проц. - с целью ведения стратегической разведки. В ходе операций НАТО на Балканах, а также действий по воспрещению полетов авиации противника в воздушном пространстве Ирака пришлось решать новые задачи и изменились принципы ведения тактической РТР. Кроме того, было испытано и принято на вооружение оборудование для передачи данных. Первоначально информация с RC-135 передавалась на наземную станцию управления с помощью средств радиотелефонной связи в пределах прямой видимости. В 1990 годах для этих целей стали использоваться специализированные каналы передачи данных.  
Видовая разведка, как и РТР, прошла определенный путь развития. Основными самолетами, осуществлявшими ее, являлись RF-101 и RF-4. Экипажи самолетов RF-4 в ходе вьетнамской войны выполняли как стратегические, так и тактические задачи. В частности, с территории Северного Вьетнама эти самолеты передавали изображения мест дислокации и боевых порядков сил противника, а в южной части страны и Лаосе отслеживали передвижение наземных подразделений противника. На территории Лаоса кроме решения задач тактической разведки экипажи RF-4 выполняли перехват самолетов противника. Результаты анализа полученных снимков передавались командованию через несколько часов после возвращения самолета на базу.

Из-за несовершенства технологий ударные самолеты, как, правило, могли наносить удары по целям лишь через несколько часов или дней после их обнаружения либо они вели «разведку с ходу», то есть обнаруживали цели в ходе полета. Новые возможности для развития видеоразведки открылись в 80-х годах с оснащением высотного разведывательного самолета U-2 оптоэлектронной аппаратурой наблюдения. Использование спутниковой связи привело к тому, что штабы руководства операциями стали располагаться на значительном удалении от ТВД, а с 1996-го - на континентальной части США. Совершенствование технологий в этой области сократило время обработки видеоизображений, получаемых U-2, до 30 мин и менее.В ходе операции коалиционных сил в Косово было положено начало оперативному целеуказанию, которое велось с помощью высотных средств видеоразведки. Зачастую удары наносились по целям, координаты которых ударный самолет получал после взлета с аэродрома. На Балканах впервые был применен БЛА RQ-1 «Предатор», который передавал видеоизображения, выполняя полеты над территорией противника.  
Опыт, полученный в операции «Несгибаемая свобода» в Афганистане, позволил специалистам разработать новые принципы применения БЛА «Предатор». Так, они стали вести наблюдение и разведку непосредственно в интересах объединенного центра управления воздушными операциями (ЦУВО). В большинстве случаев эти аппараты поднимались в воздух, не имея конкретной задачи, - определялись лишь только район наблюдений и диапазон частот передачи собираемой развединформации.  
Динамично изменяющаяся обстановка на ТВД затрудняет выбор объектов наблюдения перед боевым вылетом БЛА. В связи с этим крайне важно, чтобы план и замысел командования своевременно доводились до низовых звеньев в цепи управления, что позволит операторам БЛА и офицерам ЦУВО действовать по обстановке. Десять лет назад после завершения боевого вылета разведывательного самолета данные видовой разведки и РТР, как правило, размещались в одной из многочисленных баз данных. Однако в современных условиях необходимо, чтобы оперативная разведывательная информация передавалась конкретному адресату в режиме реального времени. Процесс передачи данных, особенно видеоразведки, является довольно сложным. Специалисты провели испытания и оснастили БЛА «Предатор» оборудованием линии передачи данных в пределах прямой видимости, с помощью которого наземные подразделения получали необходимые видеоизображения. Для ускорения обмена информацией в эксплуатацию были введены наземные приемники, такие как ROVER (Remote Operations Video Enhanced Receiver), которые обеспечивали передачу видеоданных с БЛА «Предатор» непосредственно в кабину экипажа самолета сил специальных операций АС-130. В ходе военной операции ВС США в Ираке в арсенале средств разведки и наблюдения ВВС США появился высотный БЛА RQ-4A «Глобал Хок». К характерным особенностями этой операции относятся: интенсивное использование авиации, ведение боевых действий наземными группировками сил с применением обычных вооружений, широкомасштабное применение сил специального назначения, а также поражение внезапно возникающих мобильных целей.  
БЛА «Предатор» продолжали решать задачи, аналогичные выполнявшимся в ходе афганской операции: осуществляли сбор разведывательных данных для уничтожения конкретных целей и оказывали информационную поддержку действиям наземных сил.

Применение БЛА «Глобал Хок» имело свои особенности. Практический потолок и разведывательная аппаратура данного БЛА были сопоставимы с аналогичными показателями самолета U-2. В конце марта 2003 года БЛА «Глобал Хок» поднялся в воздух для ведения наблюдения за 30 потенциальными целями бомбового удара в г. Багдад. Однако из-за осложнений, возникших в процессе обработки и передачи данных, разведывательные сведения были получены с задержкой. В ходе выполнения следующего задания действия БЛА «Глобал Хок» согласовывались по времени с действиями тактических истребителей, которые осуществляли подавление системы ПВО и уничтожение объектов в районе иракской столицы. В апреле 2003 года в ходе одного из боевых вылетов БЛА «Глобал Хок» взаимодействовал с системой проверки состояния (боеготовности сил и средств), оповещения и передачи сообщений SCARS (Status Control Alert Reporting System), обнаруживал цели в заданном районе и передавал их координаты на ударные самолеты. Позже БЛА «Глобал Хок» стали применяться для обнаружения целей в заданном районе за 2 ч до начала разведки с помощью боевых самолетов. Видеоизображения и координаты целей поступали в ЦУВО в течение 90 мин после вылета БЛА с базы. Полученные данные по каналу «Линк-16» передавались на самолеты через систему SCARS.

Как отмечается в зарубежных СМИ, в ходе подготовки к очередному конфликту специалисты ВВС США предполагают использовать свои разведывательные средства в полном объеме. Так, U-2 будут выполнять задачу обнаружения целей для ударных средств, БЛА «Глобал Хок» - взаимодействовать с ударными самолетами в рамках подавления системы ПВО противника, а также вести наблюдение в интересах подразделений специального назначения. «Ривет Джойнт» намечается задействовать при решении всех вышеперечисленных задач.  
По мнению военных экспертов, полная интеграция данных, получаемых от всех видов разведывательных средств, в единый информационный поток позволит обеспечить целеуказание самолетам в режиме реального времени. При этом связь между различными разведывательными средствами, объединенными в единую сеть, будет осуществляться посредством интерфейса «машина - машина».

**Применение смешанных групп ЛА для решения ударных задач.** Еще одним приоритетным направлением использования смешанных тактических групп ЛА является выполнение ударных задач по комплексам наземных объектов. При этом можно выделить несколько сценариев их применения в зависимости от того, как распределяются функции пилотируемых и беспилотных ЛА в составе смешанной группы [25]

Сценарий 1: БЛА разведывают и обозначают цели, а управляемое оружие применяется с пилотируемых ЛА. При этом на БЛА возлагаются задачи непосредственного целеуказания высокоточным системам оружия и контроля результатов ударов. Для этой цели могут использоваться высотные разведывательные БЛА типа RQ-4 «Глобал Хок» (США) и «Игл» (европейский концерн EADS) с практическим потолком более 20 км и продолжительностью полета не менее суток, но при условии установки на них более мощных РЛС, ИК-аппаратуры и средств радиотехнической разведки. При необходимости непрерывного контроля за обстановкой эти БЛА могут постоянно находится над заданным районом со сменой аппаратов в воздухе.

Сценарий 2. В рамках этого сценария в составе смешанной группы используются ударные БЛА, оснащенные высокоточными авиационными средствами поражения (АСП), наведение которых осуществляется оператором, располагаемым на пилотируемом ЛА. При этом на ударные БЛА в составе смешанной группы возлагаются две основные задачи. Первая - подавление ПВО ключевых военно-экономических объектов противника и вторая - выборочное поражение самих объектов в зависимости от степени их важности. С дальнейшим улучшением точностных характеристик вооружения БЛА могут назначаться малоразмерные объекты инфраструктуры (мосты, переправы, командные пункты).

О возможности практической реализации подобного сценария свидетельствуют результаты летных испытаний БЛА RQ-1А «Предатор» с установленными на нем управляемыми ракетами AGM-114 «Хеллфайр» (на полигоне ракеты поразили 12 из 16 целей). Известны результаты использования нескольких БЛА «Предатор» в ударном варианте (с обозначением MQ-1) в боевых действиях США в Афганистане, где они продемонстрировали высокую точность ударов. В качестве примера в иностранной печати неоднократно приводился удар по одному из кабульских зданий. При этом атаки выполнялись не по зданию в целом, а по окнам тех номеров, в которых якобы находились террористы.

Сценарий применения ударных БЛА получил дальнейшее развитие с началом более глубоких исследований по программе UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle), конечным результатом которой станет создание боевых БЛА. Пока же разработчики сценария ориентируются на экспериментальные боевые БЛА UCAV X-45 (заказчик министерство ВВС США) и Х-47 (ВМС) с максимальным радиусом действия 1 660 км и управляемыми авиационными бомбами и ракетами. При разработке основ боевого применения ударных БЛА военные аналитики предусматривают следующую последовательность их действий:

1. полет в заданный район;
2. поиск объектов;
3. передача на пилотируемый ЛА изображений для идентификации целей;
4. их поражение по команде оператора пилотируемого ЛА;
5. последующее возвращение к месту базирования.

Удары предполагается наносить с больших высот, на которых БЛА менее уязвимы для ПВО противника. После нанесения ударов БЛА могут продолжать полет на заданной высоте для сбора информации либо ожидать команды операторов для ударов по другим объектам. Могут быть и другие варианты, например, при высокой неопределенности обстановки нахождение в зоне патрулирования с последующей посадкой на базу, если необходимости в ударах не будет. Реакция экспертов на возможность подобного сценария применения смешанных групп ЛА неоднозначная. Часть экспертов сомневаются в перспективах его практической реализации, поскольку в рамках такого сценария завышены боевые возможности БЛА даже с учетом перспектив развития. Они утверждают, что, приобретая функции ударных средств за счет оснащения боеприпасами и прицельной аппаратурой, БЛА теряют такие положительные качества, как малые габариты и высокая маневренность. Другие эксперты, напротив, считают, что прогресс в области развития беспилотной авиации делает подобный сценарий абсолютно реалистичным.

Основным препятствием на пути использования ударных БЛА в составе смешанных тактических групп остается недостаточная надежность систем управления БЛА и точного наведения на цели. Поэтому главные технические проблемы создания ударных БЛА связаны с бортовым оборудованием и экспертными системами, в которых будут применять системы с искусственным интеллектом, а не с разработкой собственно ЛА, которая может вестись с использованием уже существующих технологий. Основными требованиями к ударным БЛА считаются: повышение маневренности и прочности конструкции; возможность размещения боевой нагрузки; прицельного оборудования; радиус действия, достаточный для досягаемости удаленных объектов; способность функционировать в рамках создаваемой ныне единой сети разнородных средств разведки и поражения целей. В связи с этим в зарубежных источниках отмечается стремление зарубежных авиастроительных фирм свести воедино в беспилотный разведывательно-ударный многоцелевой комплекс различное оборудование, предназначенное для выполнения задач разведки (включая наблюдение и обнаружение целей), создания помех радио- и радиотехническим средствам противника, подавления его ПВО, нанесения ударов по наземным целям и др. Ясно, что реализация этого обширного круга задач на одном аппарате требует установки разнообразной аппаратуры, массогабаритные характеристики которой будут значительно превышать конструктивные возможности комплекса. Одним из наиболее реальных путей решения данной проблемы является создание многоцелевых БЛА со сменными модулями соответствующего назначения. Например, в разведывательном варианте они оснащаются телекамерами, ИК-станциями, в варианте постановщиков помех - станциями радиоэлектронной разведки, передатчиками активных помех, контейнерами с автоматами сброса дипольных отражателей, а в ударном - средствами наведения оружия (ИК-станция переднего обзора, РЛС) и поражения целей.

**Участие смешанных групп ЛА в боевом подавлении системы ПВО.** Операцию боевого подавления системы противовоздушной обороны (ПВО) выполняют группы БЛА, вооруженные управляемым высокоточным оружием. Управление группами БЛА осуществляют операторы, размещенные на пилотируемых самолетах тактической авиации, которые следуют за группами БЛА на удалениях, обеспечивающих устойчивую связь и возможность обмена данными с БЛА по многоканальным линиям связи.

Данное направление применения смешанных групп ЛА по своей сути является непременной составляющей концепции выполнения ударных задач и разрабатывается применительно к перспективным эшелонированным, многослойным системам ПВО. По мнению экспертов, такие системы будут представлять серьезную опасность для БЛА еще на дальних подступах к объектам, а для пилотируемой авиации могут оказаться вообще непреодолимыми. Решающим фактором неуязвимости БЛА в зонах ПВО является скрытность полета за счет их малой заметности в оптическом, инфракрасном и других диапазонах электромагнитного спектра, достигаемая с помощью технологии «стеллс». Малая уязвимость БЛА будет обеспечена за счет действий на больших высотах полета, способности создавать помехи средствам ПВО, поражать их, а также, реагируя на противодействие противника, какие-то участки маршрута проходить в автономном режиме без излучения аппаратуры. Есть у этого направления и другой аспект. Если мощное противодействие системы ПВО будет настолько велико, что практически не останется никаких шансов на успех, то последним шансом может быть массовый пуск БЛА с плотностью налета, превышающей возможности ПВО по его отражению, с целью вызвать огонь на себя и истощить запасы ЗУР противника. При этом, как считают эксперты ВВС, произойдет смена понятия «преодоление противодействия ПВО». Речь пойдет не столько о преодолении, сколько о провоцировании ПВО. По расчетам экспертов, нападающая сторона рискует потерять до 50 % БЛА, но зато проложить путь пилотируемым ЛА смешанной группы к целевым объектам. Пилотируемая авиация в этом случае превращается в эффективного носителя высокоточного оружия или «подносчика боеприпасов».

**Применение смешанных групп ЛА в интересах радиоэлектронной борьбы (РЭБ).** Данное направлениесогласуется с принятыми на Западе концепциями, ориентированными не на боевые действия с участием больших по численности армий и уничтожение живой силы и техники, а на приведение в небоеспособное состояние систем управления войсками и оружием

В условиях острого информационного противоборства, когда каждая из сторон будет стремиться упредить другую и нанести ей максимальный информационный ущерб, БЛА предстоит участвовать в массированном радиоэлектронном подавлении объектов противника и тем самым увеличить для него неопределенность обстановки. При обнаружении радиоизлучающих объектов такие аппараты должны определять их принадлежность и координаты, которые сразу же вносятся в системы самонаведения управляемых ракет, а затем поражать выявленные цели либо подавлять их помехами. При этом, учитывая наличие на театре военных действий (ТВД) единого информационного поля, можно свести к минимуму или вообще не использовать бортовые датчики аппаратов, а обеспечивать БЛА информацией об окружающей обстановке через каналы обмена данными от спутников, наземных источников или данные, формируемые информационно-управляющим комплексом пилотируемого ЛА.

**Использование смешанных групп ЛА для целей отражения воздушного налета.** ВМС США предлагает использовать БЛА в качестве самолета-истребителя палубного базирования в системе ПВО авианесущей корабельной группы (АКГ). Управление группами БЛА выполняет командный центр системы ПВО (АКГ) и самолеты ДРЛОУ палубного базирования, входящие в состав системы ПВО АКГ.

**Применение смешанных групп ЛА для сопровождения ударных сил**. Данную задачу могут решать группы БЛА в качестве истребителей сопровождения. Управление ими осуществляют группы прикрываемых ими ударных пилотируемых самолетов.

Иерархия перечисленных выше вариантов применения смешанных групп ЛА является предварительной и должна уточняться методами операционного моделирования по показателям «эффективность-стоимость». Считается [2], что по крайней мере в ближайшие 15÷20 лет БЛА не смогут заменить пилотируемую тактическую авиацию, но их совместное применение расширит возможности тактической авиации и технологии ее применения, повысит эффективность и снизит потери летного состава.

Применение БЛА при решении вышеперечисленных задач предполагает совместное применение групп БЛА и пилотируемых ЛА. На пилотируемые ЛА, выполняющие функции пунктов управления БЛА, будут возлагаться задачи информационной поддержки, контроля за выполнением боевого задания, управления БЛА и их вооружением в ситуациях, требующих участия человека. По результатам проведенных исследований [1] считается, что оператор, находящийся на борту тактического самолета, сможет обеспечить применение 2÷4 БЛА при совершенном информационно-управляющем поле, связывающем оператора с информационным процессом, реализующим боевое применение БЛА, и наличии систем интеллектуальной поддержки решения задач, выполняемых в пункте управления применением БЛА.  **1.2. Анализ современных подходов к разработке алгоритмов предполетного планирования групповых действий авиации**

В последние годы, особенно в зарубежных публикациях, активно обсуждаются различные подходы к реализации алгоритмов предполетного планирования групповых действий беспилотной авиации. Эти подходы, различаются сценариями группового применения БЛА, требованиями к информационному обмену между БЛА и тем математическим аппаратом, который составляет основу планирования.

**Формулировка задачи предполетного планирования как задачи математического программирования**

Развивается подход, использующий аппарат математического программирования для решения задач планирования групповых действий беспилотных ЛА. Различные способы решения задач предполетного планирования в рамках подобного подхода объединяет то, что задача целераспределения, то есть назначения для каждого БЛА в составе группы наиболее предпочтительного целевого объекта, в конечном итоге интерпретируется как задача математического программирования. Типичной для данного подхода является постановка задачи, опирающаяся на следующий сценарий группового применения БЛА.

Имеется группа из ***N*** БЛА, ориентированная на решение задач поиска и уничтожения целевых объектов. При этом каждый БЛА должен атаковать максимальное число целевых объектов в течение заданного периода его функционирования. Предполагается, что имеется ***М*** целевых объектов в районе применения БЛА, положение которых точно известно, и некоторое количество целевых объектов, информацией о которых БЛА не располагает. Для решения задачи целераспределения используется следующая информация:

1. ***qx,qy***- координаты текущего положения БЛА;
2. ***tx,ty***- координаты положения целевого объекта;
3. ***Vj,j=1,…,M***- веса целевых объектов;

Предполагается также, что БЛА обнаруживает и идентифицирует целевой объект (конкретизирует его вес ***Vj***) с вероятностью ***p(dij)***, зависящей от расстояния ***dij*** между ***i***–м БЛА и целевым объектом ***Тj***. Исходим из того, в каждый текущий момент времени ***ts*** БЛА с номером ***i*** располагает информацией о положении всех участников группы и данными о ***mi*** целевых объектах, попадающих в зону обнаружения его бортовых его средств. На основе информации об обнаруженных целевых объектах на борту БЛА рассчитываются вероятности ***p(dij), j=1,…,*** , ***mi*** . Привлекая упомянутую выше доступную информацию, на борту БЛА должно быть сформировано решение о его дальнейших действиях. Это решение может быть представлено в виде вектора , каждая компонента которого принимает одно из двух возможных значений: , если ***j***– ый объект рассматривается в качестве цели для ***i***–го БЛА, - в противном случае. Решение о выборе того или иного целевого объекта в качестве предпочтительного для ***i***–го БЛА базируется на известном значении выигрыша ***Cij***, возникающего в результате действий ***i*** –го БЛА против ***j*** –го целевого объекта. Учитывая, что каждый БЛА в составе группы располагает информацией о всех БЛА в составе группы, в качестве критерия, оценивающего предпочтительность того или иного варианта целераспределения, предлагается использовать величину суммарного выигрыша, достигаемого в результате коллективных действий группы:

. (1.2)

Данная запись предполагает, что обнаружение и идентификация целевых объектов на борту БЛА производятся абсолютно достоверно с вероятностью 1. Реально обнаружение и идентификация целевых объектов каждым БЛА выполняются с некоторой вероятностью, зависящей от расстояния между БЛА и целевым объектом, в качестве критерия оптимальности в задаче целераспределения рассматривается математическое ожидание величины , которое рассчитывается следующим образом:

 (1.3)

Таким образом, задача целераспределения может быть сформулирована как задача целочисленного линейного программирования вида:

 (1.4)

с ограничениями:

 (1.5)

Кроме того, необходимо учитывать, что число целевых объектов может превышать число БЛА в группе, а значит, распределить на каждый из них БЛА не удастся. Поэтому вышеприведенное условие следует дополнить еще одним

 (1.6)

Приведенная выше задача (1.3)-(1.6) есть типичная задача целочисленного линейного программирования.

Возможность использования подобного подхода, как основы предполетного планирования групповых действий БЛА, ограничивают следующие соображения:

- реализация подобного варианта планирования предполагает наличия каналов информационного обмена между всеми БЛА в составе группы. Необходимость активного информационного обмена между БЛА в ходе выполнения целевой существенно повышает вероятность их обнаружения радиолокационными средствами, а значит, повышает опасность уничтожения БЛА;

* + описанный выше алгоритм планирования предполагает использование данных получаемых в ходе выполнения целевой задачи. То есть, подобный алгоритм целесообразно рассматривать как средство оперативной коррекции результатов предполетного планирования в случае невозможности его реализации. Использование такого подхода на этапе предполетной подготовки групповых действий БЛА невозможно в силу отсутствия необходимой для реализации описанного выше алгоритма информации.

Рассмотрим основные парадигмы предполетного планирования действий групп БЛА.

В последние годы появилось большое число работ [40-49], основу которых составляет использование диаграммы Вороного и триангуляции Делоне для решения задачи предполетного планирования групповых действий БЛА. Это объясняется тем, что и диаграмма Вороного и триангуляция Делоне обладают рядом полезных свойств, которые делают их удобной основой для решения задач предполетного планирования маршрутов БЛА, действующих в составе группы.

В самом общем изложении диаграмма Вороного [конечного множества](http://ru.wikipedia.org/wiki/Конечное_множество) точек ***S*** на плоскости представляет такое разбиение плоскости, при котором каждая область этого разбиения образует множество точек, более близких к одному из элементов множества ***S***, чем к любому другому элементу множества (рис.1.8.).

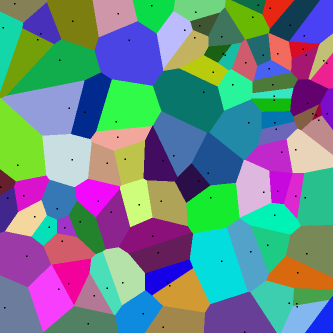


Рис. 1.8. Пример представления диаграммы Вороного

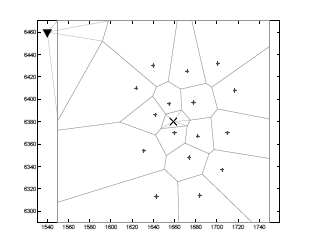
### Известны различные алгоритмы построения, разбиений, обладающих указанным свойством: простой алгоритм, алгоритм Форчуна, рекурсивный алгоритм.

Идея простого алгоритма состоит в следующем: рассматривается серединный перпендикуляр отрезка, соединяющего некоторую пару точек ***p*** и ***q*.** Этот перпендикуляр разбивает плоскость на две полуплоскости ***Hpq*** и ***Hqp***, причём область Вороного точки ***p*** целиком содержится в одной из них, а область точки ***q***— в другой. Область Вороного ***Vp*** точки ***p*** совпадает с пересечением всех таких полуплоскостей ***Hpq***. Таким образом, решение задачи сводится к вычислению такого пересечения для каждой точки ***p***. Алгоритм может быть реализован с вычислительной сложностью ***O*(*n*2log*n*)**.

Алгоритм Форчуна основан на применении заметающей прямой. Заметающая прямая — это вспомогательный объект, представляющий собой вертикальную прямую линию. На каждом шаге алгоритма диаграмма Вороного построена для множества, состоящего из заметающей прямой и точек слева от неё. При этом граница между областью Вороного прямой и областями точек состоит из отрезков парабол (так как геометрическое место точек, равноудалённых от заданной точки и прямой — это [парабола](http://ru.wikipedia.org/wiki/Парабола)). Прямая движется слева направо. Каждый раз, когда она проходит через очередную точку, эта точка добавляется к уже построенному участку диаграммы. Добавление точки к диаграмме при использовании [двоичного дерева поиска](http://ru.wikipedia.org/wiki/Двоичное_дерево_поиска) имеет сложность ***O*(log*n*),** всего точек ***n*,** а сортировка точек по ***x***-координате может быть выполнена за ***O*(*n*log*n*),** поэтому [вычислительная сложность](http://ru.wikipedia.org/wiki/Вычислительная_сложность) алгоритма Форчуна равна ***O*(*n*log*n*).**

Основная идея рекурсивного алгоритма заключается в использовании метода [динамического программирования](http://ru.wikipedia.org/wiki/Динамическое_программирование). Исходное множество точек ***S*** разбивается на два подмножества ***S1*** и **S2,** для каждого из них строится диаграмма Вороного, а затем полученные диаграммы объединяются в одну. Разбиение множества ***S*** осуществляется при помощи прямой, разделяющей плоскость на две полуплоскости, так, чтобы в обеих полуплоскостях находилось примерно одинаковое количество точек. Объединение диаграмм Вороного множеств ***S1*** и ***S2*** может быть выполнено за время ***O*(*n*),** поэтому вычислительная сложность алгоритма равна ***O*(*n*log*n*).**

Применительно к задаче планирования маршрутов движения БЛА предполагается, что [конечное множеств](http://ru.wikipedia.org/wiki/Конечное_множество)о ***S*** образовано точками, которые выступают в качестве источников потенциальных угроз, например, в них расположены посты противовоздушной обороны (ПВО) противника, оснащенные радиолокационным и средствами обнаружения воздушных целей и зенитно-ракетными комплексами (ЗРК). Полезное свойство диаграммы Вороного проявляется в том, что она позволяет накрыть район действий смешанной группы ЛА сетью, состоящей из выпуклых ячеек, внутри которых располагаются источники угроз (рис. 1.9).



***Известное начальное положение БЛА***

***Точка, в которую должен быть перемещен БЛА положение БЛА***

***Точки с известными координатами, соответствующие положению источников угрозы***

Рис. 1.9. Использование диаграммы Вороного в задаче предполетного планирования маршрутов движения БЛА

Стороны ячеек диаграммы Вороного образованы линиями, равноудаленными от близлежащих источников угрозы, и, таким образом, могут рассматриваться в качестве участков маршрута БЛА (жирные линии на рис. 1.9). Таким образом, построив с помощью перечисленных выше алгоритмов диаграмму Вороного для известных источников угрозы, мы фактически решаем задачу построения маршрутов движения ЛА. Очевидно, что диаграмма Вороного не выделяет единственного предпочтительного маршрута для каждого БЛА в составе группы, она лишь формирует конечное множество возможных маршрутов, из которого могут быть сформированы оптимальные, в смысле некоторого критерия, маршруты движения БЛА.

Поясним кратко основную идею алгоритмов, использующих в качестве основы диаграмму Вороного на примере алгоритма предполетного планирования маршрутов БЛА, описанного в [40]. После того, как на основе вышеупомянутых алгоритмов сформирована диаграмма Вороного, участкам маршрута, соединяющего начальное и конечное положение БЛА, назначаются веса, определяющие степень опасности, которая возникает при движении БЛА на каждом из участков маршрута. Для того, чтобы сопоставить различные варианты маршрутов с точки зрения их использования для выхода БЛА на целевой объект, в [40] предложен вариант критериальной функции ***Jtot(i)***, позволяющей оценить привлекательность некоторого ***i*** –го участка маршрута с учетом двух факторов:

- затраты топлива при движении по данному участку маршрута или, что то же самое (в предположении, что БЛА движется по маршруту с постоянной скоростью) длина участка маршрута ***Li*** ;

- риск потери БЛА при движении по этому участку маршрута в результате противодействия со стороны средств ПВО противника. Этот риск в существенной степени определяется характером целевой задачи, выполняемой БЛА.

В [40] риск определяется как вероятность ***pk,i*** уничтожения БЛА при движении на ***i*** –ом участке маршрута. Эта вероятность рассчитывается как вероятность ***pl,i*** обнаружения БЛА радиолокационными средствами противника и вероятность ***ps,i*** его уничтожения в результате последующей ракетной атаки. Если ***x***– вектор, определяющий текущее местоположение БЛА на плоскости, то

***pk(x)= pl(x) ps(x+x),***

где ***x+x-*** положение БЛА на момент встречи с ракетой противника. Учитывая, что в процессе движения по маршруту БЛА может оказаться в зоне досягаемости нескольких постов ПВО противника, а значит, подвергнуться атаки несколькими ЗРК, для оценки вероятности потери БЛА в [40] предложено использовать выражение:

. (1.11)

Последнее выражение оценивает вероятность потери БЛА в конкретной точке маршрута, определяемой вектором ***x*** . На основе приведенного выражения в [39] рассчитывается вероятность ***pk,i*** уничтожения БЛА при движении на ***i*** –ом участке маршрута.

В окончательном виде критериальная функция, оценивающая предпочтительность ***i*** –го участка маршрута с учетом затрат топлива и опасности потери БЛА в [40] представлена как:

***,*** (1.12)

где - весовые коэффициенты, за счет выбора которых достигается приемлемый компромисс между составляющими критериальной функции.

Для оценки предпочтительность варианта маршрута, состоящего из ***I*** участков использована зависимость:

 (1.13)

Выше рассмотрен предложенное в [40] решение задачи предполетного планирования маршрута движения одиночного БЛА на цель, которое достаточно легко может быть распространено на планирование маршрутов группы БЛА, действующих по комплексу целевых объектов. Подчеркнем некоторые преимущества данного метода, позволяющие рассматривать его в качестве перспективной основы для разработки алгоритма предполетного планирования групповых действий БЛА:

– простота реализации, обусловленная наличием развитых алгоритмов построения диаграмм Вороного, реализация которых не сопряжена со столь значительными вычислительными затратами, как использование аппарата математического программирования или сетей Петри;

- возможность формирования оптимального маршрута БЛА с учетом двух наиболее значимых соображений (энергетические затраты и обеспечение безопасности БЛА при движении по маршруту);

- возможность на единой основе с использованием единого математического аппарата и формализованных критериев решать как задачу оптимального целераспределения (назначения каждому БЛА в составе группы наиболее предпочтительного целевого объекта), так и задачу формирования оптимального маршрута выхода БЛА на выбранный целевой объект.

Недостаток такого способа планирования маршрутов движения БЛА проявляется в недостаточной гибкости построенного маршрута. Формирование маршрута путем «склеивания» соответствующих сторон ячеек, образующих диаграмму Вороного, приводит к необходимости реализации траектории жесткой структуры, обеспечить движение по которой в реальных условиях весьма затруднительно. Более привлекательным подходом, позволяющим в полной мере сохранить преимущества рассмотренного метода, но формировать маршрут обладающий большей гибкостью удается за счет применения метода, базирующегося на триангуляции Делоне [ 41]. В отличие от метода, использующего в качестве основы диаграмму Вороного, в этом случае маршрут формируется в виде набора промежуточных пунктов маршрута (ППМ), прохождение которых является обязательным. На характер маршрута движения БЛА между ППМ жестких ограничений не накладывается, что позволяет строить траектории, максимально учитывающие динамические возможности БЛА.

Триангуляция Делоне рассматривается как граф, двойственный диаграмме Вороного, а именно, соединив отрезками те исходные точки, чьи многоугольники Вороного соприкасаются хотя бы углами, мы получим триангуляцию Делоне. Практическое построение триангуляции Делоне базируется на следующих ее свойствах:

1) триангуляция Делоне обладает максимальной суммой минимальных углов всех своих треугольников среди всех возможных триангуляций;

2) триангуляция Делоне обладает минимальной суммой радиусов окружностей, описанных около треугольников, среди всех возможных триангуляций.

В приведенных утверждениях фигурирует некая суммарная характеристика всей триангуляции (сумма минимальных углов или сумма радиусов), оптимизируя которую в парах смежных треугольников, можно получить триангуляцию Делоне. Как показывает практика, выбор структуры для представления триангуляции оказывает существенное влияние на теоретическую трудоёмкость алгоритмов, а также на скорость конкретной реализации. Кроме того, выбор структуры может зависеть от цели дальнейшего использования триангуляции. Одной из важнейших операций, выполняемых при построении триангуляции, является проверка условия Делоне для заданных пар треугольников. На практике обычно используют несколько способов проверки:

1) проверка через уравнение описанной окружности;

2) проверка с заранее вычисленной описанной окружностью;

3) проверка суммы противолежащих углов;

4) модифицированная проверка суммы противолежащих углов.

В настоящее время известно значительное количество различных алгоритмов построения триангуляции Делоне. В целом из всего множества представленных алгоритмов лучше всего себя зарекомендовал *алгоритм динамического кэширования*. Примерно так же хорошо работает *алгоритм послойного сгущения*. Что немаловажно, оба эти алгоритма несложно программируются на любых структурах данных. Из других хороших алгоритмов следует отметить *двухпроходный алгоритм невыпуклого полосового слияния* и *ленточный алгоритм*, но они несколько сложнее в реализации.

Рис 1.10. Пример построения триангуляции Делоне в задаче планирования маршрутов движения БЛА.

****

***БЛА***

***Источники потенциальной угрозы (посты ПВО противника)***

***Целевой объект***

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

***Серединные точки отрезков триангуляции Делоне, рассматриваемые в качестве ППМ***

***Один из возможных вариантов маршрута выхода БЛА на цель***

Применительно к задаче планирования маршрутов движения БЛА триангуляцию Делоне можно рассматривать как геометрическую структуру, являющуюся аналогом диаграммы Вороного, отрезки которой соединяют точки соответствующие расположению источников потенциальных угроз. Середины отрезков, образующих триангуляцию Делоне, таким образом, максимально удалены от соответствующих источников угрозы (постов ПВО противника), а значит, могут рассматриваться как кандидаты для их использования в качестве ППМ (рис. 1.8). Более подробно реализация метода предполетного планирования, базирующегося на триангуляции Делоне, будет рассмотрена в разд. 1.2.

Итак, результаты анализа, представленные в данном разделе позволяют сделать следующие выводы:

1. достаточно проработаны и представлены в библиографических источниках задачи предполетного планирования для групп, образованных ЛА одного типа (либо групп пилотируемых ЛА, либо групп беспилотных ЛА). Вопросы предполетного планирования действий смешанных групп ЛА, объединяющих в своем составе пилотируемые и беспилотные ЛА, не представлены ни в отечественной, ни в зарубежной литературе. Поскольку, использование именно смешанных тактических групп ЛА рассматривается как наиболее эффективное направление организации групповых действий авиации, становится понятной актуальность разработки алгоритмов предполетного планирования действий смешанных тактических групп ЛА;
2. наиболее привлекательной основой для решения задач предполетного планирования смешанных групп ЛА, позволяющий добиться приемлемого компромисса между вычислительной сложностью алгоритмов планирования и возможностью получения оптимальных решений, представляется триангуляция Делоне;
3. существующие методы планирования, базирующиеся на триангуляции Делоне требуют развития, так как не учитывают следующие важные особенности рассматриваемой задачи:

- наличие неопределенности в расположении источников потенциальной угрозы (постов ПВО противника). Традиционные методы планирования, использующие диаграмму Вороного и триангуляцию Делоне, объединяет предположение о том, что расположение источников угрозы известно точно. В реальных условиях получение абсолютно точных сведений о расположении постов ПВО в районе применения смешанной группы ЛА является затруднительным, поскольку осложняется активным противодействием противника. Более адекватным реальным условиям является предположение, что информация о расположении постов ПВО несет в себе некоторый элемент неопределенности. Причем, правильнее говорить о неопределенности статистической, предполагающей вероятностный характер сведений относительно расположения источников угроз;

- наличие в составе смешанной тактической группы ЛА как пилотируемых, так и беспилотных ЛА. Неоднородность ЛА в составе смешанной группы предполагает их ранжирование по степени важности, поскольку последствия потери пилотируемого или беспилотного ЛА существенно различны;

- неоднородность состава объектов, являющихся областью применения смешанной группы ЛА, требующая в процессе планирования учета степени важности каждого из них.

Учитывая это, в разд. 1.2 предполагается новый метод предполетного планирования действий смешанной группы ЛА, развивающий работу [40], с учетом вышеперечисленных особенностей смешанных тактических групп ЛА.

2. Специальная часть. Разработка алгоритма оптимального целераспределения для группы разнотипных беспилотных ЛА в операции нанесения удара по наземным объектам разной важности

**2.1 Техническая постановка задачи**

Рассматривается группа, объединяющая различные БЛА, обладающие различным ударным потенциалом. При этом предполагается, что наземный командный пункт располагает информацией обо всех БЛА, находящихся в районе целевого применения. Считаем, что целевые объекты, расположенные в районе базирования группы БЛА, могут быть объединены в кластеры, каждый из которых объединяет объекты, обладающие одинаковой значимостью, если рассматривать их как объекты атаки.

Таким образом, возникает сама задача: необходимо объединить БЛА в подгруппы с учетом их ударных потенциалов и выбрать для каждой из групп соответствующий кластер целевых объектов так, чтобы обеспечить выполнение поставленной задачи в результате группового применения БЛА.

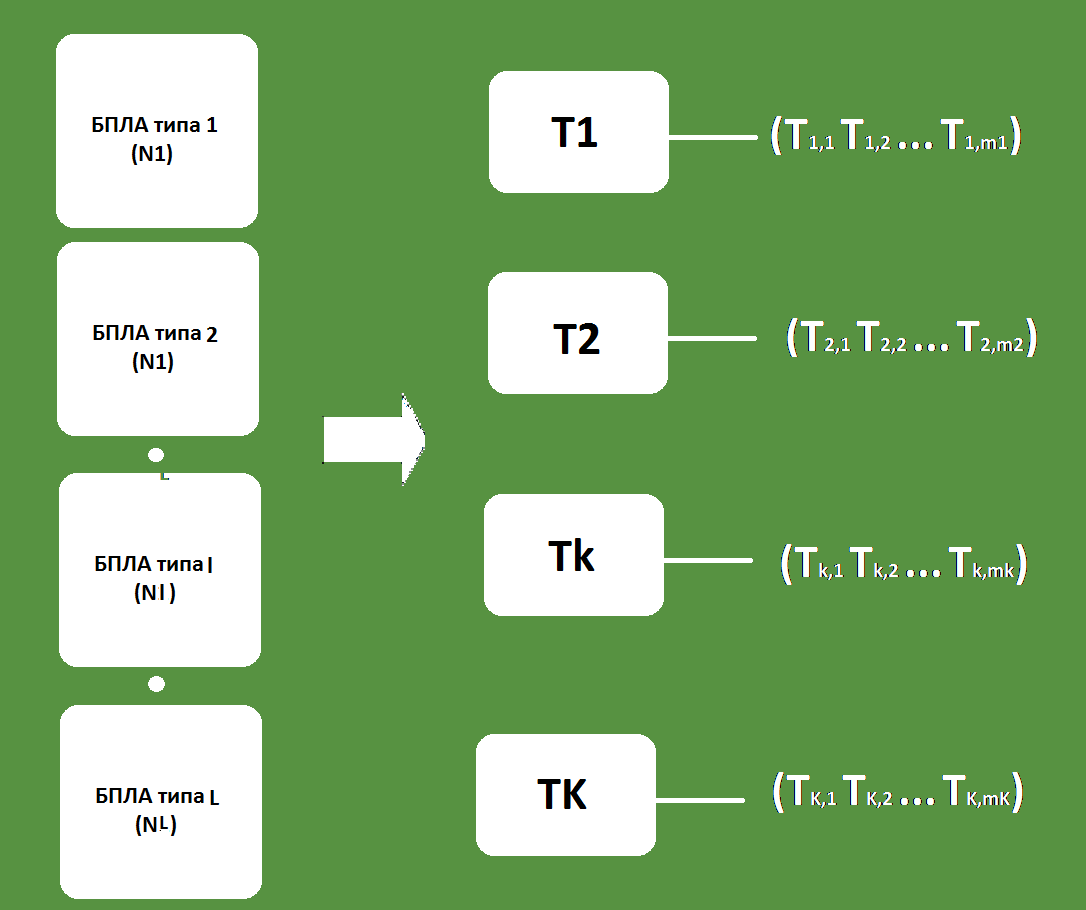
Интеграция БЛА в ударные звенья обеспечивает наилучшее использование ударного потенциала группы.

Необходимо учесть следующее:

* необходимо для каждого ударного звена назначить кластер целевых объектов, соответствующий ее ударным возможностям.
* Каждое ударное звено должно прибыть в район выполнения задачи в определенный промежуток времени (иными словами, группы должны действовать синхронно)
* Сохраняется возможность взлета разных ударных звеньев с разных аэродромов.

Введем обозначения, которые будем использовать далее. Допустим, что имеется L различных по своим ударным потенциалам типов БЛА.Ограниченное количество l=1..L составляет Nl . С другой стороны, все ЦО с учетом их важности как потенциальных объектов атаки, сгруппированы в К кластеров, причем общее количество объектов данного кластера обозначим через mk

Содержание задачи объединения БЛА в ударные звенья иллюстрируется рисунком.



Необходимо определить оптимальный (в смысле максимума поражающего эффекта) алгоритм целераспределения, который каждому из типов (L) БЛА ставит в соответствие К кластеров целевых объектов.

**2.2.Математическая постановка задачи  
2.2.1. Общий вид задачи**

С учетом вышесказанного, данная задача, в самом общем виде, принимает вид:

*J(x)→max*

)

(3.1)  
где X - вектор регулируемых переменных, qi(x), hi(x) — ограничения.

Конкретизируем компоненты вышеприведенной задачи применимо к задаче распределения разнотипных БЛА по кластерам ЦО.

Исходим из того, что имеется некоторое разнообразие типов БЛА, различающихся своими ударными возможностями. Таким образом классифицируем имеющиеся БЛА по признаку поражающей способности, выражающейся в вероятности поражения объекта соответствующего кластера.

Целевая функция является взвешенной суммой нескольких компонент:

+ (3.2)

На основании вышесказанного будут сформированы компоненты целевой функции и функции-ограничения для задачи оптимизации.

**2.2.2**. **Выбор регулируемых переменных.**

Классификация БЛА по типам позволяет снизить число регулируемых переменных x, а значит, упростить численное решение задачи оптимизации. Объединение БЛА в новые группы должно осуществляться с учетом расположения аэродромов базирования БЛА, с учетом их характеристик и характеристик средств поражения, расположенных на БЛА.

Предположим существование некоторого ограниченного количества БЛА нескольких различных типов, оснащенных различными средствами поражения и базирующихся на нескольких аэродромах базирования.  
 Задача сводится к формированию матрицы R размера LxK. Каждый элемент xlk этой матрицы определяет количество БЛА типа l, определенных для атаки целевых объектов кластера k. Таким образом, каждый столбец матрицы соответствует кластеру цели. Первый столбец соответствует приоритетному кластеру цели, остальные столбцы идут по убыванию важности. Строки же матрицы соответствуют типу БЛА. Первая строка соответствует типу БЛА наивысшего ранга и так далее по убывающей. В результате, элементы матрицы целераспределения рассматриваются в задаче как регулируемые переменные в задаче оптимизации.

**2.2.3** **Формирование компонент целевой функции**

С учетом технических особенностей рассматриваемой задачи мы полагаем, что ЦО, объединенные в один кластер могут отличаться друга от друга с точки зрения их значимости как объекта атаки и расположены рядом. В этом случае естественно считать, что для всех БЛА, объединяемых в группы, вероятности ожиданий ущерба или ожидаемых потерь одинаковые для всех целевых объектов.

Введем обозначения:

В качестве обобщенной характеристики значимости k-го кластера целевого объекта примем максимальное значение значимости целевого объекта в данном кластере.

-вероятность пораженя БЛА типа l кластера k.

(3.3)

(3.4)

Эта компонента критериальной функции характеризует ожидаемый выигрыш для данного варианта целераспределения.

Для того, чтобы получить оптимальный вариант, необходимо не только оценить возможный выигрыш, но и возможные потери, обусловленные данным вариантом целераспределения.

–в качестве оценки примем среднее значение

(3.5)

Введем компоненту критерия, описывающую оптимальность выбранного варианта целераспределения с точки зрения возможных потерь.

(3.6)

Необходимость учета временной синхронизации отдельных звеньев БЛА обусловлена наличием временных ограничений на выполнение ЦЗ группой. В этих условиях выполнение ЦЗ каждым отдельным звеном должно производиться в назначенный временной период. Исходя из этого, введем два временных интервала.

* Требуемый временной интервал [tmink, tmaxk], устанавливает минимальное и максимальное время для атаки ЦО k-го кластера звеном БЛА.
* Фактический временной интервал, определяющий время, в течении которого БЛА может реально достичь ЦО k-го кластера с учетом расстояния до него и располагаемых скоростей движения.

Таким образом, для решения задачи целераспределения необходима количественная мера, позволяющая оценить насколько хорошо фактические временные интервалы соотносятся с требуемыми временными интервалами. Эта количественная мера должна достигать максимального значения при условии, что фактический временной интервал накрывает требуемый временной интервал с некоторым запасом.

Введем обозначения:

расстояние от БЛА типа l до центра кластера ЦО k  
  
 Координаты центра кластера.

(3.7)

Критерий принимает вид:  
(3.8)

где

(3.9)  
 Для оптимального случая будет справедливо:

(3.10)

В этом случае требуемые и фактические временные интервалы будут совпадать.

При любом смещении этих интервалов-вправо или влево, соотношение (3.10) будет принимать значения меньше единицы, причем эта величина тем меньше, чем меньше зона перекрытия фактических и требуемых временных интервалов.

Как указывалось ранее, оптимальным полагается такой вариант целераспределения БЛА по кластерам ЦО, при котором:

* Ожидаемый выигрыш максимален
* Ожидаемые потери минимальны
* В наибольшей степени обеспечивается временная синхронизация действий БЛА в составе группы.

**2.2.4.** **Формирование системы ограничений**

1. Положим, что общее число БЛА различных типов, задействованных в операции нанесения ударов по наземным объектам, ограничено:

(3.11)

1. Для того, чтобы обеспечить успешное выполнение операции, количество БЛА в ударной группе должно превышать количество объектов, составляющих кластер k настолько, насколько возможны потери БЛА из-за отказов. Таким образом, регламентируем минимальное количество БЛА, включенное в группу:

(3.12)

1. Необходимо учитывать, что дальность полета БЛА ограничена, что предполагает наличие ограничения:

(3.13)

где - максимальная дальность полета БЛА типа l.

1. Как правило, суммарное количество БЛА различных типов, которое может быть задействовано в операциях нанесения удара по наземным целям, ограничено:  
   (3.14)
2. Для того, чтобы обеспечить выполнение условия временной сиинхронизации действий БЛА, необходимо учитывать неравенство  
    (3.15)
3. Очевидно, что число БЛА определенного типа, направленное для нанесения удара по ЦО не может быть отрицательно:

(3.16)

Причем xl,k =0 означает, что БЛА типа l не участвует в нанесении удара по объектам кластера k.

**2.2.5. Окончательный вид критериальной функции.**

Таким образом, в окончательном виде задача целераспределения разнотипных БЛА сведена к задаче целочисленного программирования с критериальной функцией

(

(3.17)

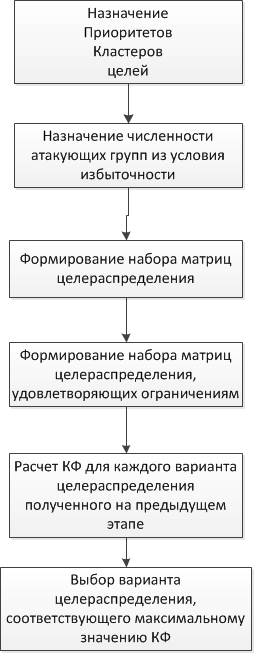
с системой приведенных выше ограничений (3.11 — 3.16)

Результатом решения этой задачи должна стать матрица целераспредения R:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | … | К |
| 1 | X11 | X12 | ... | X1k |
| 2 | X21 | X22 | ... | X2k |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| L | XL1 | XL2 | … | XLK |

**2.3. Алгоритм решения задачи нелинейного целочисленного программирования**

Для решения поставленной задачи в рамках данной математической постановки исходя из ее логики было использовано несколько алгоритмов. Алгоритмы имеют общий вид:



Разница между представленными алгоритмами заключается в третьем блоке «формирование набора матриц целераспределения»

**2.3.1-Алгоритм направленного перебора, максимизирующий ожидаемый** **выигрыш.**

Сущность алгоритма заключается в следующем:

1. На атаку приоритетного кластера целей выделяется k+1 БЛА высшего ранга (где k-численность кластера).
2. На атаку второго по значимости кластера выделяется k+1 БЛА высшего ранга. В случае, если оставшихся БЛА высшего ранга меньше, чем k+1, недостающее количество БЛА добирается из числа БЛА следующего по рангу типа.
3. Выделение БЛА для атаки третьего по значимости кластера происходит аналогично.
4. Очевидно, что при таком варианте целераспределения компонента критерия J2 (ожидаемые потери) будет наибольшей. С целью ее оптимизации начинаем в каждой группе последовательно понижать количество БЛА наивысшего ранга и увеличивать количество БЛА более низкого ранга до тех пор, пока количество БЛА самого низкого ранга не станет предельно допустимым. Каждый получившийся вариант матрицы целераспределения сохраняется.
5. Для каждого варианта целераспределения, сформированного в предыдущем пункте, вычисляется значение критерия.
6. Выбирается максимальное значение критерия и соответствующий ему вариант целераспределения.

Блок-схема алгоритма представлена ниже

maxJ111

**2.3.2-Алгоритм направленного перебора, минимизирующий ожидаемые потери.**

Сущность алгоритма заключается в следующем:

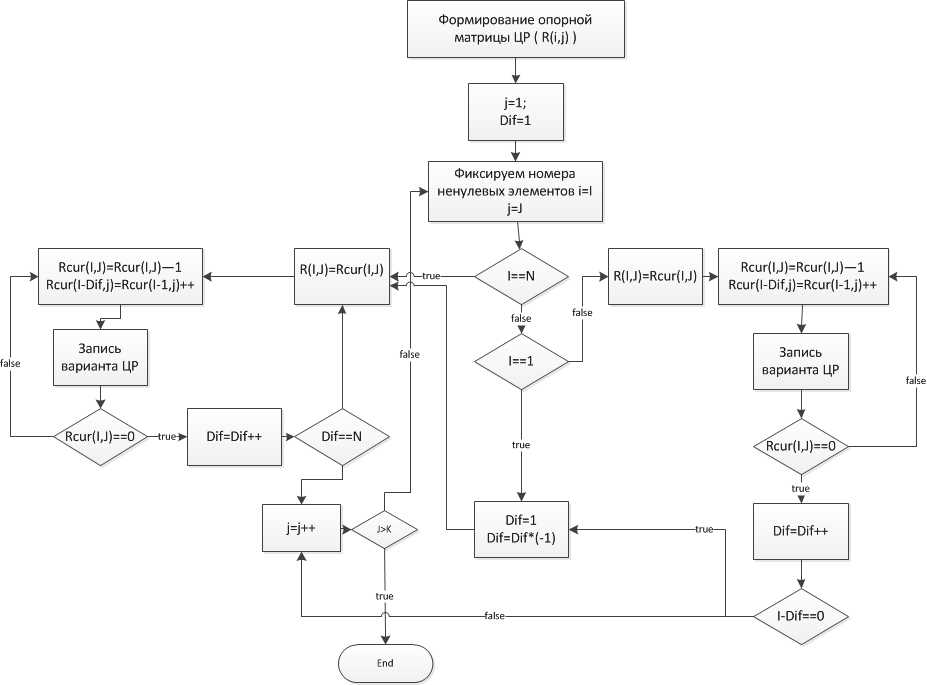
* Формируется так называемая опорная матрица целераспределения, имеющая вид:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 0 | 0 | k(3)+1 |
| 0 | k(2)+1 | 0 |
| k(1)+1 | 0 | 0 |

Такая структура, предполагающая направление на наиболее опасный кластер максимального количества БЛА низкого ранга, обеспечивает наиболее низкое значение ожидаемых потерь в рамках изложенной выше математической постановки. Однако, такое решение будет доставлять низкое значение компоненте критерия J1 (ожидаемый выигрыш)

* Для того, чтобы увеличить значение компоненты критерия J1, начинаем варьировать значения ячеек матрицы, последовательно понижая значение ячейки опорной матрицы с максимальным значением и увеличивая значения прочих ячеек до тех пор, пока значение максимальной ячейки опорной матрицы не станет равным нулю.
* Как и в предыдущем случае, каждый вариант целераспределения запоминается и для него рассчитывается значение критерия.
* Выбирается максимальное значение критерия и соответствующая ему матрица целераспределения.

Для проверки состоятельности вышеизложенных алгоритмов был использован метод полного перебора.

Блок-схема этого алгоритма представлена ниже  


**2.4.Результаты имитационного моделирования**

В ходе выполнения работы были сформированы алгоритмы решения задачи нелинейного целочисленного программирования (см. выше), осуществлена их программная реализация.

Результаты моделирования приведены ниже. Каждое решение было получено несколькими способами:

* Метод полного перебора. Использование этого метода гарантировало нам получение оптимального решения. Метод полного перебора был использован мной для иллюстрации состоятельности алгоритмов, предложенных в пунктах 2.3.1 и 2.3.2. Для краткости решение, полученное этим методом, будем обозначать цифрой 0.
* Метод, максимизирующий ожидаемый выигрыш (описан в пункте 2.3.1). Для краткости решение, полученное этим методом, будем обозначать цифрой 1.
* Метод, минимизирующий ожидаемые потери (описан в пункте 2.3.2). Для краткости решение, полученное этим методом, будем обозначать цифрой 2.

**2.4.1. Начальные условия:**

* Количество типов БЛА: N=3
* Количество кластеров целей: K=3
* Численность типов БЛА n=[5,5,5]
* Численность кластеров варьируется.
* Весовые коэффициенты при компонентах критерия варьируются.
* Вероятности поражения объекта кластера беспилотником задаются матрицей:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 0,3 | 0,4 | 0,5 |

Здесь номеру строки соответствует номер типа БЛА, а номеру столбца номер кластера целей.

* Вероятности потери БЛА при атаке кластера целей задаются матрицей:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 0,5 | 0,3 | 0,2 |
| 0,5 | 0,3 | 0,2 |
| 0,5 | 0,3 | 0,2 |

Здесь номеру строки соответствует номер типа БЛА, а номеру столбца номер кластера целей.

Замечание: Поскольку в рамках данной постановки БЛА классифицируются по своему ударному потенциалу, считаем, что вероятность поражения БЛА силами противника полностью зависит от поражающей способности объектов, образующих кластер целей и не зависит от типа БЛА.

* Дальности от аэродромов базирования БЛА до кластеров целей задаются матрицей:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 130 | 139 | 164 |
| 58 | 53 | 86 |
| 53 | 20 | 53 |

1. Значимости БЛА каждого типа: [0,5 0,3 0,2];
2. Значимости кластеров [0,5 0,3 0,2];
3. Диапазоны скоростей для всех типов БЛА одинаковы и лежат в пределах от 5 до 10 ед.
4. Радиусы действия всех БЛА также одинаковы и равны 200 ед.

Замечание: моделирование было произведено для случая, когда имеется три кластера целей и три типа БЛА, то есть для размерности матрицы целераспределения 3х3. Моделирование для случаев, когда размерность матрицы ЦР больше, не было произведено, так как в этом случае возникают вычислительные проблемы, связанные с алгоритмом полного перебора.

**2.4.2.Результаты моделирования.**

Для следующих условий:

0: J=1,2157 1: J=1,1962 2: J=1,1891

Для следующих условий:

0: J=0,9998 1: J=0,9802 2: J=0,9811

Для следующих условий:

0: J=0,7856 1: J=0,7641 2: J=0,7732

Для следующих условий:

0: J=0,5735 1: J=0,5507 2: J=0,5656

Для следующих условий:

0: J=1,2157 1: J=1,1908 2: J=1,1987

Для следующих условий:

0: J=0,9966 1: J=0,9747 2: J=0,9844

Для следующих условий:

0: J=0,7802 1: J=0,7587 2: J=0,7725

Для следующих условий:

0: J=0,5659 1: J=0,5453 2: J=0,5619

Для следующих условий:

0: J=1,2157 1: J=1,2042 2: J=1,2053

Для следующих условий:

0: J=0,9966 1: J=0,9865 2: J=0,9889

Для следующих условий:

0: J=0,7798 1: J=0,7688 2: J=0,7741

Для следующих условий:

0: J=0,5645 1: J=0,5511 2: J=0,5609

Для следующих условий:

0: J=1,2157 1: J=1,2157 2: J=1,2154

Для следующих условий:

0: J=0,9966 1: J=0,9953 2: J=0,9956

Для следующих условий:

0: J=0,7798 1: J=0,7750 2: J=0,7772

Для следующих условий:

0: J=0,5645 1: J=0,5545 2: J=0,5630

**2.4.3 Выводы к результатам моделирования.**

Проведенные эксперименты показывают, что предложенные алгоритмы направленного перебора состоятельны, так как дают незначительное уменьшение значения критерия по сравнению с решением, полученным методом полного перебора. Так, среднее уменьшение значения критериальной функции не превышает двух процентов. Следует заметить, что существует несколько вариантов целераспределения, соответствующих значениям критерия, близкому по значению к оптимальному. Такие варианты могут быть сохранены как альтернативы, в том случае, если решение о выборе варианта целераспределения будет приниматься человеком.

Из результатов моделирования видно, что вид матрицы целераспределения преимущественно зависит от состава кластеров целей и мало зависит от значений весовых коэффициентов при компонентах критериальной функции.

1. **Организационно-экономическая часть**

В данной дипломной работе выполняется разработка алгоритма оптимального целераспределения для группы разнотипных БЛА в операциях нанесения удара по кластерам наземных целей. Алгоритм представлен в виде программно-математического обеспечения (ПМО), позволяющего проводить моделирование предполетного целераспределения. На основе получаемых результатов оценивается эффективность алгоритма и, при необходимости, производится его корректировка.

Ниже представлен прогнозный расчет затрат на разработку и решение поставленной в дипломной работе задачи. Выполняется оценочный выбор последовательности и сроков выполнения работ, определение трудоемкости и длительности цикла проведения работ, построение план-графика работ, а также формируется и рассчитывается смета затрат по различным статьям расходов.

**3.1. Организационная часть**

Для организации разработки большое распространение получил метод календарного планирования на основе план-графика работ.

Основным достоинством план-графика является наглядность. План-график является графической моделью для комплекса работ, необходимых для достижения конечной цели НИР. План-график строится на основе перечисленных событий и работ, сроков их выполнения и ожидаемых результатов. Под разработкой план-графика подразумевается составление перечня всех событий и работ, необходимых для достижения конечной цели.

Планирование работ с применением план-графика осуществляется в следующей последовательности:

1. составление полного перечня работ;
2. определение последовательности, сроков выполнения и продолжительности работ;
3. определение количества и состава участников разработки;
4. определение трудоёмкости и длительности цикла проведения каждой работы;
5. формирование план-графика работы.

Состав и последовательность работ

Для краткости и во избежание повторения совместим планирование работы в одну таблицу состава и последовательности работ. Продолжительность работ указана в часах. Рабочий день принят равным 8 часам.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | | **Наименование работ** | **Календарные сроки и продолжительность работ** | | |  | | | |
|  | | | | **Начало** | | **Оконч.** | **Продолж.** | **Исполнители** |
| 1 | Выдача и проработка технического задания | | | | 02.09.13 | | 06.09.13 | 40 | Студент-дипломник,  Руководитель диплома |
| 2 | Поиск и анализ литературы | | | | 09.09.13 | | 13.09.13 | 40 | Студент-дипломник |
| 3 | Исследование и анализ различных подходов к групповому применению БЛА | | | | 16.09.13 | | 18.09.13 | 24 | Студент-дипломник |
| 4 | Математическая постановка задачи | | | | 19.09.13 | | 4.10.13 | 96 | Студент-дипломник |
| 5 | Обоснование структуры и способа математического описания поставленной задачи | | | | 07.10.13 | | 9.10.13 | 24 | Студент-дипломник,  Руководитель диплома |
| 6 | Детальная проработка алгоритма решения задачи | | | | 14.10.13 | | 25.10.13 | 72 | Студент-дипломник |
| 7 | Согласование полученных результатов  работы | | | | 28.10.08 | | 31.10.08 | 16 | Студент-дипломник,  Руководитель диплома |
| 8 | Программная реализация алгоритма | | | | 30.10.13 | | 22.11.13 | 144 | Студент-дипломник |
| 9 | Тестирование ПМО | | | | 25.11.13 | | 29.11.13 | 40 |  |
| 10 | Проведение имитационного моделирования с целью проверки работоспособности алгоритма и оценки его эффективности | | | | 02.12.13 | | 04.12.13 | 24 | Студент-дипломник |
| 11 | Отладка ПМО и внесение корректировок в алгоритм | | | | 5.12.13 | | 11.12.13 | 40 | Студент-дипломник |
| 12 | Анализ результатов и оформление требуемой документации | | | | 12.12.13 | | 27.12.13 | 96 | Студент-дипломник,  Руководитель диплома |
| **Итого общая продолжительность работ (часов)** | | **656** | |  | | | | | |

Календарь работы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды работ | **Сентябрь** | |  | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | **Сентябрь** | |  | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | 16 | | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 3 | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды работ | **Октябрь** | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | | 11 | | 12 | | 13 | | 14 | | 15 | | |  |
| 4 |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 5 |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 6 |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| --- | **Октябрь** | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | 16 | | | 17 | | 18 | | 19 | | 20 | | 21 | | 22 | | 23 | | 24 | | 25 | | 26 | | 27 | | 28 | | 29 | | 30 | 31 | |
| 6 | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |
| 7 | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |
| 8 | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды работ | **Ноябрь** | |  | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 8 | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | **Ноябрь** | |  | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | 16 | | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 8 | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 | |  | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды работ | **Декабрь** | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | | 11 | | 12 | | 13 | | 14 | | 15 | | |  |
| 10 |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 11 |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| 12 |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  |
| --- | **Декабрь** | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | 16 | | | 17 | | 18 | | 19 | | 20 | | 21 | | 22 | | 23 | | 24 | | 25 | | 26 | | 27 | | 28 | | 29 | | 30 | 31 | |
| 12 | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |

На основе полученного календаря составляем окончательный план-график работ.

План-график работ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Виды работ** | **Кол-во**  **исполнителей** | | **Порядковые дни** | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | | 3 | | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | | 10 | | 11 | | 12 | | 13 | | 14 | |  | |
| 1 | 2 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 2 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 3 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 4 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| --- | ----- | | **Порядковые дни** | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 16 | | 17 | | | 18 | | 19 | | 20 | | 21 | | 22 | | 23 | | | 24 | | 25 | | 26 | | 27 | | 28 | |  | |
| 4 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 5 | 2 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| --- | ----- | | **Порядковые дни** | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 30 | | 31 | | | 32 | | 33 | | 34 | | 35 | | 36 | | 37 | | | 38 | | 39 | | 40 | | 41 | | 42 | |  | |
| 6 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 7 | 2 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 8 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| --- | ----- | | **Порядковые дни** | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | 44 | | 45 | | | 46 | | 47 | | 48 | | 49 | | 50 | | 51 | | | 52 | | 53 | | 54 | | 55 | | 56 | |  | |
| 8 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| --- | ----- | | **Порядковые дни** | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 57 | 58 | | 59 | | | 60 | | 61 | | 62 | | 63 | | 64 | | 65 | | | 66 | | 67 | | 68 | | 69 | | 70 | |  | |
| 8 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 9 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 10 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| 11 | 1 | |  |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| --- | ----- | | **Порядковые дни** | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | |  | | | | | 71 | 72 | | 73 | | 74 | | 75 | | 76 | | 77 | | 78 | 79 | | 80 | | 81 | | 82 | | 83 | | 84 | | 85 |
| 12 | | 2 | | | | |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |
|  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  |

Определение трудоемкости

Трудоемкость разработки программного обеспечения решения поставленной задачи можно рассчитать по формуле:

где:

затраты труда на подготовку описания задачи;

затраты труда на исследование и разработку алгоритма решения задачи;

затраты труда на разработку блок-схемы алгоритма;

затраты труда на программирование по готовой блок-схеме;

затраты труда на отладку программы на ПЭВМ;

затраты труда на подготовку документации по задаче.

Эти значения рассчитываются по следующим формулам:

Где:

затраты труда на конструкторское оформление;

затраты труда на редактирование, печать и оформление документации, равные .

условное число операторов (строк) в разрабатываемой программе.

где:

предполагаемое число операторов (строк);

коэффициент сложности программы;

коэффициент коррекции программы в ходе ее разработки.

коэффициент затрат труда вследствие недостаточного или некачественного описания задачи.

коэффициент квалификации разработчика алгоритмов и программ.

Предполагаемое число операторов . Значение выбрано исходя из предыдущего опыта программирования и сравнения сложности текущей задачи с ранее созданным ПМО.

Коэффициент сложности программы в данной задаче был принят равным , так как разрабатываемый алгоритм ранее нигде не встречался и является новой разработкой.

Так как предполагается, что в ходе тестирования максимальная величина внесенных в программу изменений не превысит , то коэффициент коррекции программы принимается равным .

Степень подготовленности исполнителя можно считать равным периоду обучения в университете, так как уже с первого курса проводятся занятия по работе в выбранной для дипломной работы среде программирования. В этом случае стаж равен 5 годам и, следовательно, соответствующее значение коэффициента квалификации разработчика равен .

Постановка задачи, выданной для разработки программы, не требует серьезной доработки и уточнения, поэтому величина коэффициента затрат труда выбрана равной .

Рассчитаем окончательно трудоемкость дипломной работы.

Получаем:

**3.2 Экономическая часть**

Сформируем и рассчитаем смету по следующим статьям расходов:

* расходные материалы;
* заработная плата;
* начисления на заработную плату (страховые взносы во внебюджетные фонды, налог по травматизму);
* расходы на эксплуатацию ПЭВМ;
* накладные расходы.

Расходные материалы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Вид расходных материалов** | **Расход (количество)** | **Цена единицы**  **(руб.)** | **Цена общая**  **(руб.)** |
| 1 | Бумага для печати (упаковка) | 1 | 170 | 170 |
| 2 | Ручка пишущая (гелевая) | 3 | 20 | 60 |
| 3 | Карандаш | 3 | 10 | 30 |
| 4 | Картридж для принтера | 1 | 1840 | 1840 |
| 5 | Оптический диск (с возможностью перезаписи) | 1 | 40 | 40 |
| 6 | Флэш-диск (8гб) | 1 | 1000 | 1000 |
| 7 | Папка файлов с держателем | 2 | 210 | 420 |
| **Итого** | | | | 3560 |

Таким образом, затраты на расходные материалы составляют рублей.

Заработная плата

Дипломная работа разрабатывается студентом-дипломником под руководством преподавателя. Примем часовую ставку зарплаты для студента-дипломника равной рублей, ставку преподавателя – рублей.

Расчет затрат на заработную плату будем вести с учетом составленного ранее плана-графика. Считаем, что рабочий день равен часам.

здесь:

заработная плата работника за весь период;

часовая ставка;

общее количество отработанных часов.

Студент-дипломник работает на протяжении всего периода, поэтому для него . Руководитель занимается дипломной работой в качестве консультанта, поэтому занят лишь в ключевые моменты, когда требуется согласование и утверждение работы ().

Общие затраты на заработную плату составили рублей.

Начисления на заработную плату

Начислениями на заработную плату являются страховые взносы. На данный момент размеры страховых взносов устанавливаются федеральным законом №212-ФЗ [2].

В таком случае, ставки страховых взносов будут следующими:

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование** | **Ставка (в процентах)** |
| Пенсионный фонд Российской Федерации | 22.0 |
| Фонд социального страхования Российской Федерации | 2.9 |
| Федеральный фонд обязательного медицинского страхования | 5.1 |
| **Итого** | 30.0 |

Рассчитаем затраты на страховые взносы:

где:

доля отчислений в пенсионный фонд;

доля отчислений в фонд социального страхования;

доля отчислений в федеральный фонд обязательного медицинского страхования.

Затраты на страховые взносы составляют 33600 рублей.

Расходы на эксплуатацию ПЭВМ

Данные расходы включают в себя:

* амортизацию технических средств;
* расходы на электроэнергию;
* аренду помещения.

1. *Амортизация технических средств*

Амортизационные отчисления осуществляются ежемесячно с целью возмещения износа оборудования. Выберем линейный способ амортизационных отчислений. Ниже представлена таблица оборудования, используемого в процессе выполнения работы.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование** | **Количество** | **Ресурс (дни)** | **Время использования (дни)** | **Цена (руб.)** |
| ПЭВМ | 1 | 1024 | 82 | 60000 |
| Принтер | 1 | 600 | 82 | 7000 |

Расчет амортизационных отчислений производится по следующей формуле:

где:

стоимость оборудования (руб.);

время использования оборудования (дни);

ресурс оборудования (дни).

Подставляя табличные значения в формулу получаем:

1. *Расходы на электроэнергию*

В таблице представлена потребляемая мощность оборудования.

|  |  |
| --- | --- |
| **Устройство** | **Потребляемая мощность (Вт)** |
| ПЭВМ | 500 |
| Принтер | 65 |
| Лампы | 40 |

Стоимость кВтч равна рублей. В помещении над рабочим местом установлено энергосберегающие лампы.

где:

общая мощность (кВтч);

стоимость кВтч (руб.);

общее время использования оборудования.

1. *Аренда помещения*

Стоимость аренды м2 в офисном помещении составляет рублей в год. Площадь отведенного рабочего места составляет м2.

где:

площадь рабочего места (м2);

стоимость аренды м2 офисного помещения в год (руб.);

время аренды помещения (дни).

1. *Общие расходы на эксплуатацию ПЭВМ*

Таким образом, получаем, что общие расходы на эксплуатацию ПЭВМ составляют рублей.

Накладные расходы

Рас­пределение накладных расходов осуществляется пропорционально затратам на опла­ту труда работников, непосредственно занятых созданием научно-технической продукции.

Для научно-исследовательских организаций (институтов), за­нятых созданием научно-технической продукции (информации) и не связанных с материальным производством, предельное значение на­кладных расходов, устанавливаемое для аэрокосмической промышленности, составляет около 28% от затрат на оплату труда.

Накладные расходы составляют рублей.

Смета затрат на НИР

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **п/п** | **Статьи расходов** | **Величина (руб.)** | **Удельный вес в общей сумме затрат (%)** |
| 1 | Расходные материалы | 3560 | 1.6 |
| 2 | Заработная плата | 112000 | 53.37 |
| 3 | Начисления на з/п (травматизм) | 33600 | 16.01 |
| 4 | Расходы на эксплуатацию ПЭВМ | 29324.87 | 13.97 |
| 5 | Накладные расходы | 31360 | 14.94 |
| **Итого себестоимость работ** | | 209844,87 | 100 |

Как видно из таблицы и графика распределения затрат, большая часть расходов (свыше ) приходится на заработную плату.

**3.3 Выводы по экономической части**

Результатом данного раздела стало составление план-графика работ, а также оценка и расчет затрат на разработку программно-математического обеспечения.

Были получены следующие результаты: оценочная продолжительность работ равна часов, расчетные затраты на выполнение работы составили 209844,87 рублей.

Продолжительность выполнения работ не выходит за рамки периода, отведенного на выполнение дипломной работы. Следовательно, все работы, как и предполагалось, могут быть выполнены одним разработчиком в установленный срок. Рассматриваемая работа является научно-исследовательской, поэтому она не предполагает расчета экономического эффекта.

# 4.Раздел охраны труда и окружающей среды. Тема: Микроклимат производственного помещения

В данной дипломной работе выполняется разработка алгоритма оптимального целераспределения разнотипных БЛА в операциях нанесения удара по кластерам наземных целей. Основным средством, благодаря которому инженер выполняет эту работу, является ПЭВМ. Существует ряд негативных факторов, которые при работе инженера оказывают отрицательное воздействие на его здоровье, психику, а значит и на работоспособность.

**4.1Краткая характеристика и анализ условий труда при выполнении рассматриваемого технологического процесса**

Под микроклиматом помещения будем понимать совокупность значений температуры, влажности и скорости движения водуха.

Выполнение работы по разработке алгоритма осуществляется при помощи ПЭВМ в помещении, имеющему площадь 9\*6,5=58,5м2 и высоту потолков равную 3м. В помещении расположено 8 рабочих мест с ПЭВМ. Одновременно работу в данном помещении осуществляет 8 человек, следовательно на одного человека приходится 21,9375м3 объема воздуха и 7,3125м2 площади. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 для обеспечения оптимальных условий труда, необходимо, чтобы на одного работающего площадь помещения составляла не менее 6м2, а объем не менее 20.0м3, следовательно, данные нормы по размерам помещения на одного работника в помещении выполнены. Однако, высота потолков ниже установленных в документе 3.3м.

Помещение оборудовано системами отопления, приточно-вытяжной вентиляцией и системой кондиционирования воздуха.

Температура воздуха в помещении не поднимается выше 22 градусов по Цельсию и не опускается ниже 20, относительная влажность не превышает 55%.

**4.2. Анализ возможности возникновения опасных или вредных факторов и ситуаций при выполнении технологического процесса**

Классификацию опасных и вредных факторов на территории РФ устанавливает ГОСТ 12.0.003-74 .

Классификацию опасных и вредных факторов на территории РФ устанавливает ГОСТ 12.0.003-74 . Согласно ему, опасные и вредные факторы подразделяются по природе действия следующим образом:

физические;

психофизиологические;

химические;

биологические.

Выделим основные факторы, которые с большей вероятностью могут возникнуть при данных условиях трудовой деятельности.

*Физические*:

повышенный уровень шума на рабочем месте;

недостаточная освещенность рабочей зоны;

повышенная или пониженная температура, подвижность и влажность воздуха рабочей зоны;

повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

*Психофизиологические*:

нервно-психические перегрузки.  
Вероятность возникновения химических и биологических опасных или вредных факторов при работе на ЭВМ значительно ниже, поэтому эти факторы рассмотрены не будут.

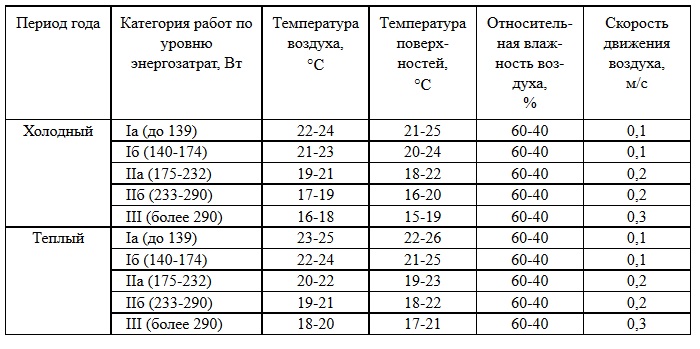
Повышенная температура может возникнуть вследствие неправильного регулирования работы систем кондиционирования, длительного нахождения в помещении большего количества людей а также пренебрежения проветриванием помещения.

Пониженная же температура также может возникнуть вследствие неправильного регулирования работы систем кондиционирования, а также из-за неисправности систем отопления.

Повышенная влажность может возникнуть вследствие избыточного количества комнатных растений в комнате, а также недостаточного отопления помещения.  
 Пониженная же влажность, напротив, может возникнуть из-за высокой температуры воздуха.

**4.3. Описание воздействия выявленных неблагоприятных факторов на человеческий организм**  
 Роль микроклимата в жизнедеятельности человека предопределяется тем, что последняя может нормально протекать лишь при условии сохранения температурного гомеостаза организма, который достигается за счет системы терморегуляции и усиления деятельности других функциональных систем: сердечно - сосудистой, выделительной, эндокринной, а также систем, обеспечивающих энергетический, водно-солевой и белковый обмены.  
 **Термостабильность** – состояние организма, обеспечиваемое равенством теплопродукции и суммарной теплоотдачей, не является единственным условием теплового комфорта человека. Должны быть соблюдены и другие условия, касающиеся регламентации доли теплоотдачи за счет испарения влаги с поверхности кожи (не более 30%), а также средневзвешенной температуры кожи и температуры кожи на отдельных участках поверхности тела.   
 **Охлаждающий микроклимат** - сочетание параметров, при котором имеет место превышение суммарной теплоотдачи в окружающую среду над величиной теплопродукции организма, приводящее к образованию общего и/или локального дефицита тепла в теле человека (> 2 Вт).   
 На**гревающий микроклимат** - сочетание его параметров, при котором имеет место изменение теплообмена человека с окружающей средой, проявляющееся в накоплении тепла в организме (> 2 Вт) и/или в увеличении доли потерь тепла испарением влаги (> 30 Вт).   
 Охлаждающий микроклимат способствует возникновению сердечно-сосудистой патологии, приводит к обострению язвенной болезни, радикулита, обуславливает возникновение заболеваний органов дыхания. Охлаждение человека, как общее, так и локальное (особенно кистей) способствует изменению его двигательной реакции, нарушает координацию и способность выполнения точных операций, вызывает тормозные процессы в коре головного мозга, что может быть причиной возникновения различных форм травматизма. При локальном охлаждении кистей снижается точность выполнения рабочих операций. Работоспособность уменьшается на 1,5% на каждый градус снижения температуры пальцев. При выраженном охлаждении организма растет число тромбоцитов и эритроцитов в крови, увеличивается содержание холестерина, вязкость крови, что повышает возможность тромбообразования. Даже при кратковременном влиянии холода в организме происходит перестройка регуляторных и гомеостатических систем, изменяется иммунный статус организма.   
 Влияние нагревающего микроклимата связано с напряжением различных функциональных систем организма человека, что приводит к нарушению состояния здоровья, работоспособности и производительности труда. При определенном значении составляющих нагревающий микроклимат может привести к заболеванию общего характера, которое проявляется чаще всего в виде теплового коллапса. Особенно подвержены тепловым ударам лица, имеющие массу тела выше нормы. Среди рабочих, труд которых связан со значительной тепловой и физической нагрузкой, наблюдается интенсивное биологическое старение, особенно в возрастных группах 20-30 и 40-50 лет. Наблюдаются головные боли, повышенная потливость и утомляемость, увеличивается риск смерти от сердечно - сосудистой патологии (гипертоническая и ишемическая болезни, болезни артерий и капилляров).

**4.4. Сравнение фактических параметров окружающей среды, возникающих в технологическом процессе, с предельно допустимыми нормами**

 Как было сказано выше, температура воздуха в рассматриваемом помещении не поднимается выше 24 градусов по Цельсию и не опускается ниже 22, относительная влажность не превышает 55% в холодное время года, а в теплое время года температура воздуха находится в диапазоне 23-25 градусов по Цельсию при влажности в 50%, что соответствует оптимальным микроклиматическим условиям для данного типа работы (1а), установленным СанПиН 2.2.4.548-96

**4.5. Выбор и обоснование методов и средств защиты человека, наиболее рациональных для рассматриваемых условий**  
  
 Как было показано в предыдущем разделе, условия труда соответствуют нормам.  
 Одну из главных ролей в создании оптимальных микроклиматических условий играет вентиляция. Под **вентиляционной системой** понимают совокупность различных по своему назначению вентиляционных установок, способных обслуживать отдельное помещение или корпус.

В зависимости от способа перемещения воздуха в рабочих помещениях вентиляция делится на искусственную (механическую), естественную и комбинированную.

При искусственной вентиляции воздух порождается механическими устройствами - вентиляторами и др.

При естественной вентиляции воздухообмен осуществляется двумя способами: неорганизованно посредством проветривания и фильтрации воздуха через оконные, дверные проемы и щели в них; организованное - посредством аэрации и с помощью дефлекторов. Естественный неорганизованный воздухообмен в помещении обусловлен действием двух факторов: теплового движения воздуха и ветрового давления. Тепловое давление создается разностью весов столбов воздуха вне и внутри помещения. Таким образом, возникает перепад давлений, вызывает воздухообмен. Ветровое давление обусловлено действием ветра, благодаря которому на наветренных поверхностях здания возникает избыточное давление, а на заветренных сторонах - разрежение. Возникающий перепад давлений обуславливает вход воздуха с наветренной сторо­ны здания и выход его через отверстия на противоположной заветренной стороне. В ряде случаев неорганизованного воздухообмена недостаточно для удаления вредных выделений из помещения, поэтому используют специальное устройство - дефлектор. Дефлектором является оголовок, которым заканчивается труба, предназначенная для удаления воздуха из верхней зоны помещения. Поток ветра, ударяясь о дефлектор и обтекая его, создаст вокруг большой части его периметра разрежение, обеспечивающее подсос воздуха из помещения по каналу дефлектора. **Аэрацией** является организованный естественный воздухообмен, осуществляемый в заранее рассчитанных объемах и регулируемый в соответствии с внешними метеорологическими условиями.

По характеру охвата помещения вентиляционные системы могут быть общеобменными локальными (местная) и комбинированная. При обобщенной вентиляции смена воздуха происходит во всем объеме помещения. Этот тип вентиляции может осуществляться естественным способом с помощью аэрации и механическим способом. Назначение местной вентиляции - локализация вредных выделений в местах образования и удаления их из помещения. Локальная вентиляция может осуществляется механически с помощью вентиляторов и естественным образом с помощью дефлектора. При комбинированной системе одновременно с общим воздухообменом локализуются также и отдельные наиболее интенсивные источники выделения.

Локальная вентиляция может быть приточной и вытяжной.  
 Приточную вентиляцию предусматривают для подачи чистого воздуха в рабочую зону для создания микроклимата на отдельных местах (воздушные души, завесы и оазисы). Воздушный душ представляет собой поток воздуха, направленный на человека. Температура воздуха и его скорость регламентируются СН 245-71 (см. приложение 1). Воздушная завеса позволяет предотвратить проникновение в производственное здание через ворота холодного воздуха, в зимнее время. Воздушные завесы улучшают метеоусловия на ограниченной площади помещения, которая отделяется для этого со всех сторон легкими предварительными перегородками и затапливается воздухом более холодным и чистым, чем воздух помещения. Вытяжную вентиляцию устраивают в местах образования вредных выделений в виде шкафов, зонтов, закрытых отсосов (аспирации), ванн, отсосов от различного оборудования, шлифовальных станков, пылесосов, пылестружкоприемников, эжекционных установок, индивидуальных отсасывающих агрегатов и т.д.  
 Для создания и поддержания оптимальных микроклиматических условий в помещении установлен кондиционер.   
 Кондиционер - это вентиляционная установка, которая с помощью автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Кондиционеры бывают двух видов: установки полного кондиционирования воздуха, обеспечивающие постоянство температуры, относительной влажности, скорости движения и чистоты воздуха; установки неполного кондиционирования, обеспечивающие постоянство только части этих параметров или одного параметра, чаще всего температуры.

В зависимости от способа холодоснабжения кондиционеры под­разделяются на автономные и неавтономные. В автономных кондиционерах холод вырабатывается собственными встроенными холодильными агрегатами. Неавтоматические кондиционеры снабжаются холодоносителями централизовано**.**

По способу приготовления и раздачи воздуха кондиционеры подразделяются на центральные и местные.  
 Конструкция центральных кондиционеров предусматривает приготовление воздуха вне обслуживаемых помещений и его раздачу по системе воздуховодов. В местных же кондиционерах приготовление воздуха происходит непосредственно в обслуживаемых помещениях, воздух раздается сосредоточенно, без воздуховодов.  
 Для поддержания оптимальной температуры в помещении установлены батареи отопления, а так же обогреватели, питаемые сетью 220V (включаемые опционально). Для поддержания оптимальной влажности используются комнатные растения. Так же, регулировка температуры и влажности осуществляется регулярными проветриваниями помещения.

**4.6. Список использованной литературы.**

1-СанПиН 2.2.4.548-96

2-Защита от вредных производственных факторов при работе на ПЭВМ: Методические указания к дипломному проектированию. Авт.-сост.: В.М. Березин, М.И. Дайнов – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 48 с.: ил.

3-Охрана труда на ВЦ: Методические указания к дипломному проектированию. Авт.-сост.: Н.И. Бобков, Т.В. Голованова – М.: Изд-во МАИ, 1991. – 28 с.: ил.

4-Безопасность труда при работе на персональных компьютерах: метод. указ. к выполнению дипломного проекта. Сост. Л.А. Моссоулина, Е.В. Алекина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. 28 с.: ил.  
5-СанПиН2.2.2/2.4.1340-03  
6-Безопасность жизнедеятельности. С.В. Белов. – М.: Высш. шк., 2008.  
7-СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.  
8- ГОСТ 12.1.005-88

**5.Выводы**

В данной работе был проведен анализ существующих на данный момент подходов к предполетному планированию действий БЛА. На основе этого анализа был сделан вывод об актуальности данной работы.  
 Задача целераспределения для группы БЛА, состоящей из БЛА различного типа при атаке разнотипных кластеров наземных целей в процессе предполетного планирования была интерпретирована как задача целочисленного нелинейного математического программирования.

Была сформулирована математическая модель системы, в том числе критериальная функция. Были созданы алгоритмы целераспределения, предлагающие два альтернативных решения, несущественно различающихся по значению критериальной функции. Проверка состоятельности этих алгоритмов была осуществлена при помощи применения для решения задачи метода полного перебора при одинаковых начальных условиях моделирования.

Была приведена выборка результатов, показывающая состоятельность созданных алгоритмов.

Достоинством предлагаемых алгоритмов целераспределения является простота реализации и малые (по сравнению с методом полного перебора) вычислительные затраты, то есть, высокое быстродействие, позволяющее решать задачу в условиях дефицита времени.

Недостатком предложенного решения является математическая модель, существенно зависимая от экспертных оценок — в частности, оценок вероятностей поражения беспилотником того или иного типа некоторого объекта, входящего в кластер целей и вероятности потери БЛА.

1. **Список использованной литературы**

1. В. В. Малышев. Методы оптимизации в задачах системного анализа и управления: Учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. — 440 с.

2. Абрамов Л. М., Капустин В.Ф. Математическое программирование. — Учебное пособие. — Л.: ЛГУ, 1981. — 328 с.

3. Ашманов С.А., Тимохов А.В. Теория оптимизации в задачах и упражнениях. — М.: Наука, 1991. — 446 с.  
 4. М.Н. Красильщиков В.Н. Евдокименков Д.А. Базлев «Индивидуально-адаптированные бортовые системы контроля технического состояния самолета и поддержки управляющих действий летчика» М., Издательство МАИ 2011

5. В.Н. Евдокименков В.Г. Динеев К.А. Карп «Инженерные методы вероятностного анализа авиационных и космических систем» М., Издательство Физматлит 2010