

УДК 623.746

DOI 10.52167/1609-1817-2023-128-5-298-311

Х. Молдамурат, А. Жумабаева, А. Базарбек<sup>✉</sup>, С. Атанов, К. Ахметов  
Евразийский национальный университет, Астана, Казахстан  
E-mail: asyl.bazarbek.92@mail.ru

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГРУППОВОГО ЗАПУСКА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ИНФОРМАЦИОННЫМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Аннотация.** В данной статье рассматривается разработка групповой системы управления летательным аппаратом на основе искусственного интеллекта. Рассмотрена возможность использования роевых алгоритмов для моделирования коллективного интеллекта в системах управления в среде MATLAB&Simulink. Перспективным направлением в области использования беспилотных летательных аппаратов является их объединение в группы или в рой. У насекомых наблюдается принцип роевой организации. В случае с дронами каждый дрон управляется собственной автоматикой, а поведением роя в целом управляет программа с элементами искусственного интеллекта. Метод роя очень эффективен для задач управления группой беспилотных летательных аппаратов. Это, например, задачи изучения земной поверхности, такие как съемка зон пожаров или военных объектов, создание 4D и 3D фильмов в киноиндустрии и многое другое.

**Ключевые слова.** Беспилотный летательный аппарат, система автоматического управления, траектория полета, машинное обучение, измерительные устройства.

### Введение.

Принятие управленческих решений по проектированию современных многофункциональных комплексов и систем, к которым относятся активно развивающиеся беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [1-5], функционирующие на платформе информационно-измерительных и управляющих систем (ИИиУС), с целью улучшения их технических и эксплуатационных характеристик, является актуальной задачей. Методы расчета сложных технических систем в сочетании с имитационной моделью дают возможность наиболее рационально организовать целенаправленный процесс проектирования основных характеристик многофункциональных беспилотных аппаратов, имеющих несколько функциональных ИИиУС.

Особенностью проблемы синтеза ИИиУС перспективных БПЛА является то, что постановка задач включает лишь часть перечисленных составляющих, а именно: набор показателей эффективности и, возможно, некоторые ограничения, краевые условия и характеристики среды функционирования. Определение остальных компонент осуществляется в процессе проектирования ИИиУС перспективного БПЛА.

### Материалы и методы.

Таким образом, требуется синтезировать эффективную информационно-измерительную и управляющую систему [6-8], включающую объект управления и устройство управления, по множеству показателей эффективности

$$J \stackrel{\Delta}{=} \{J^l\}, \quad l = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где  $J^l$  – функционал или целевая функция;  $N$  – число каналов управления; при ограничениях в виде равенств

$$J^l = J^{l,k}, \quad l = n_1, n_2, \dots, n_n \quad (2)$$

и неравенств

$$J^{l-} \leq J \leq J^{l+}, \quad l = m_1, m_2, \dots, m_m; \quad n + m = N. \quad (3)$$

Указанная постановка проблемы не является математически корректной, поскольку не указан вид показателей (1). Оправданием служит то, что на первом этапе исследований неизвестны ни математическая модель объекта управления, ни переменные, поведение которых определяет значения показателей эффективности. Однако эта некорректность снимается в процессе проектирования объекта управления.

Функционирование управляемой системы  $G(U, X, W)$  задается выражением:

$$G: U \times X \times W \Rightarrow Y = y = G(U, X, W), \quad (4)$$

где  $X, Y$ , – векторы входного и выходного процессов;  $X \subset X, Y \subset Y; W^-$  – вектор возмущений;  $W \subset W, U$  – вектор управлений;  $U \subset U; X, Y, U, W$  – множество возможных значений сигналов  $X, Y, U, W$  в общем случае носящих стохастический характер.

В частном случае система  $G(U, X, W)$  отождествляет проектируемую ИИиУС (ее модель) и реальный управляемый БПЛА на этапе его эксплуатации.

Поскольку ИИиУС БПЛА функционируют в условиях неопределенности, то предусматривается внесение в систему управления элементов адаптации и искусственного интеллекта [9-11], которые позволяют обеспечить автоматическое приспособление к непредсказуемым изменениям окружающей обстановки и условий эксплуатации. С их помощью ИИиУС может планировать операции и принимать оптимальные решения, воспринимать и оперативно реагировать на изменения в полетной зоне, анализировать обстановку и распознавать объекты, программировать работу бортовых систем и корректировать управляющие программы, диагностировать неисправности и предотвращать аварийные ситуации.

Будем использовать метод оптимизации, основанный на сравнении реального выходного сигнала  $Y$  системы с требуемым сигналом  $Y_T$ . В основу оптимизации положим вышеназванные признаки БПЛА, связанные с его функционированием. Таким образом, за качество ИИиУС БПЛА принимаем ее условную эффективность за счет включения требований к процессу формирования вектора выходного сигнала  $Y$ .

Сигнал  $Y_T$  задан параметрами БЛА, имеющего аналогичное целевое назначение, так называемой эталонной системы. В качестве реализаций вектора  $Y_T$  принимаем реализацию имитационной модели оптимальной системы, позволяющую расчетным путем определить вероятностные характеристики выходного сигнала оптимальной системы. По вероятностным характеристикам на основе закона 3-х  $\sigma$  сформируем область, в которую должны попадать реализации сигнала  $Y_T$  в фиксированные моменты времени.

Структура информационных моделей современных ИИиУС непосредственно связана с объектами функционирования наземных комплексов управления (НКУ). Многоканальность и мобильность объектов ИИиУС реализованы на основе сетевых технологий, что позволяет определить действие НКУ. В структуре ИИиУС выделено несколько подсистем бортовых измерительных и управляющих систем в составе интегрированной бортовой цифровой вычислительной системы (ИБЦВС). В ИБЦВС реализуются алгоритмы обработки информации и управления, создаются управляющие воздействия на основе показаний основных измерителей – бортовой радиолокационной станции (БРЛС) и оптико-электронной локационной станции (ОЭЛС), а также приемопередающих устройств (ППУ) блоков связи с наземным комплексом

управления. В структуру измерителей также входят блоки слежения за глобальными спутниковыми информационными системами (ГЛОНАСС/GPS), а также за дополнительными измерителями ИИиУС – бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) и системами целевого оборудования (ЦО). Структура ИИиУС БЛА представлена на рисунке 1.

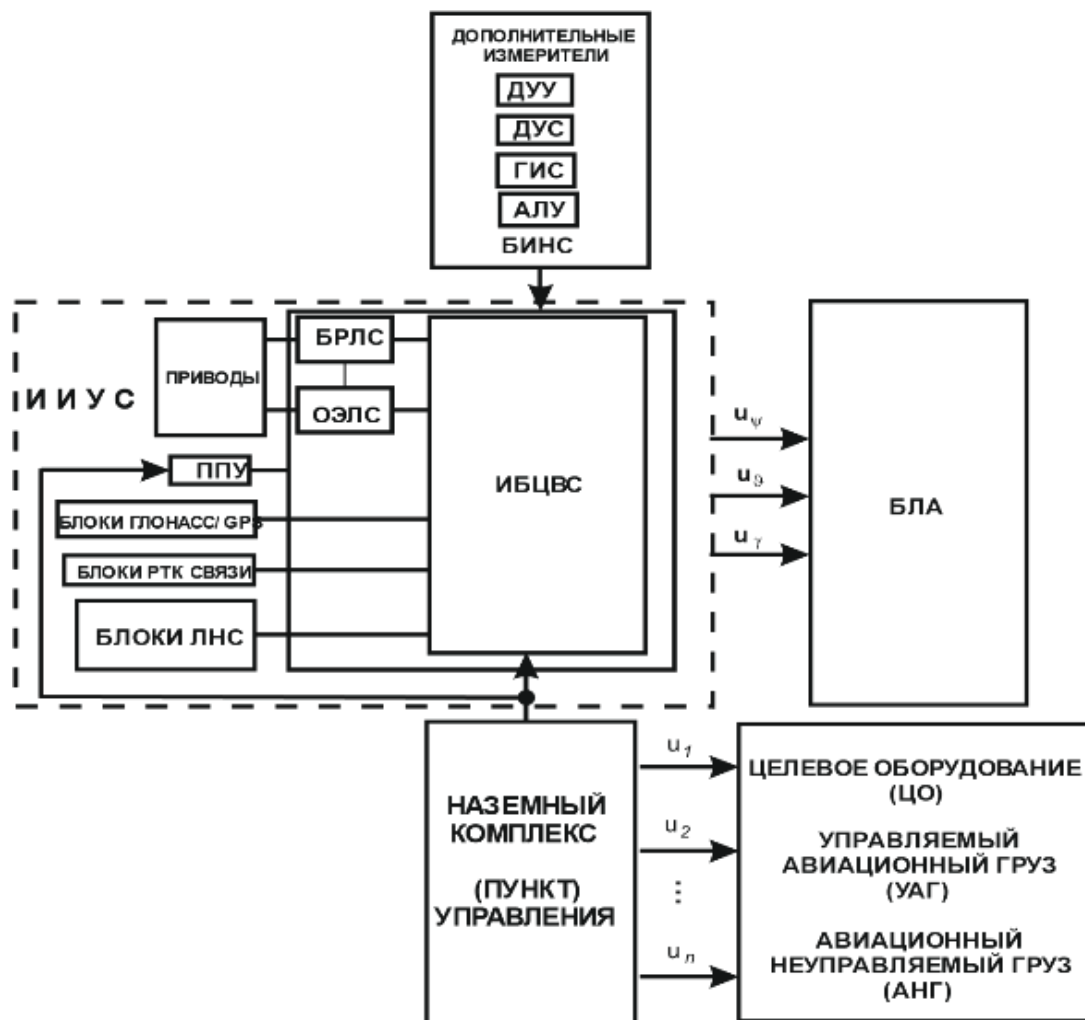


Рисунок 1 – Структура ИИиУС БЛА

Задача функционирования структуры ИИиУС БЛА (см. рисунок 1) состоит в выработке управлений  $u_\psi, u_\vartheta, u_\gamma$  по углу курса  $\psi$ , тангажа  $\vartheta$  и углу крена  $\gamma$ , а также управляющих воздействий на целевое оборудование  $u_1, u_2, \dots, u_n$ . Эти управления формируют образ идеальной ИИиУС БЛА, на который в ходе эксплуатации накладываются помехи.

Структура ИИиУС БЛА содержит ДУУ – датчик угловых ускорений, ДУС – датчик угловой скорости ИИиУС БЛА, ГИС – геоинформационную систему, АЛУ – акселерометр линейных ускорений, БИНС – бесплатформенную инерциальную навигационную систему, ЛНС – локальную навигационную систему БЛА. Структурный состав объектов КБЛА с ИИиУС может меняться в зависимости от решаемых задач и условий применения (УП) БЛА. При этом, сами БЛА включают главные звенья объектов ИИиУС – основные и дополнительные измерители, используемые в контуре управления и решения основных задач КБЛА [12 - 15].

### *Преимущества применения группы БПЛА:*

#### *Снижение суммарной стоимости БПЛА:*

- 1) Распределение полезной нагрузки по нескольким бортам (возможность сэкономить на суммарной стоимости полезной нагрузки)
- 2) Снижение потерь от аварий
- 3) Улучшение точности позиционирования каждого БПЛА за счет взаимного позиционирования
- 4) Улучшение получаемых результатов за счет разных углов зрения разных БЛА
- 5) Ускорение получения результата в ряде применений

#### *Недочеты и ограничения применения групп БПЛА:*

1) Требуется высокие вычислительные возможности на борту БПЛА для взаимодействия БЛА в полете в составе группы и предварительной обработки собираемой информации в режиме реального времени.

2) Необходимые новые типы управляющего ПО.

3) Желательна интеграция системы управления группой БПЛА и ПО полезных нагрузок.

4) Беспилотники в рое не только не должны сталкиваться, но также не должны мешать друг-другу создаваемыми ими воздушными потоками.

По результатам анализа, проведенного в работе, до 80% операций с использованием БПЛА с многоцелевыми ИИиУС приходится на область пересечения функциональных особенностей как военного, так и гражданского назначения. Кроме того, актуальным является задача создания ИИиУС многофункциональных БПЛА, способных эффективно решать, как народнохозяйственные, так и специальные задачи. Следует решить важную научную задачу дальнейшего совершенствования методологии создания «облика» перспективных многофункциональных БПЛА, включающую совокупность методов разработки, моделей и алгоритмов разработки для оценки эффективности. А также оценку надежности этих систем; по сравнению с предыдущими годами в разработке методов проектирования беспилотной авиации есть определенные успехи, но задачи анализа и синтеза новых многофункциональных БПЛА как динамических стохастической систем со сменной структурой остаются нерешенными.

БПЛА и машинное обучение полезны для интеллектуального анализа данных на основе многомерных карт, развития инфраструктуры и точного земледелия. Например, модели искусственной нейронной сети (ANN) используются в процессе дождевого стока, прогнозировании испарения, оценке поглощения воды растениями, классификации растений на основе листьев, прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур и смягчении последствий для водно-болотных угодий для управления автомагистралями. Данные изображений с БПЛА использовались для экологического процесса и структурного моделирования. БПЛА имеет возможность записывать многоспектральную съемку, а его оператор может контролировать разрешение снимков, летая на разной высоте. Однако трудно интерпретировать изображения с высоким разрешением без алгоритмов машинного обучения. Случайный лес (RF) - это метод группового обучения, который использует пакетирование или агрегирование начальной загрузки для классификации изображений. С помощью радиочастотного метода могут быть получены спектральные оценки.

Моделирование на основе случайного леса обладает лучшей производительностью, чем искусственные нейронные сети и машины опорных векторов. Алгоритмы экстремального машинного обучения используются в задачах регрессии и классификации количественных данных дистанционного зондирования (рисунок 2).

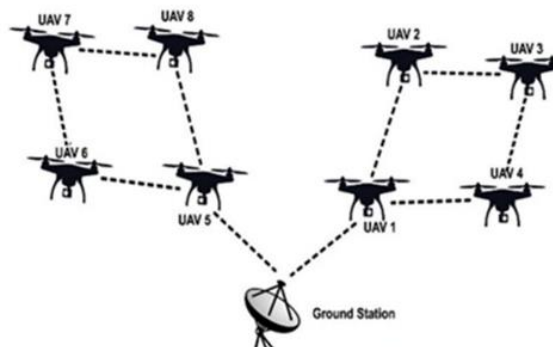


Рисунок 2 – Связь с группой БПЛА

Прогресс в области алгоритмов машинного обучения, датчиков и ИТ-технологий открыл двери для применения беспилотных летательных аппаратов во многих секторах. Однако основными секторами являются компьютерные, беспроводные сети, умные города, военные, сельское хозяйство и горнодобывающая промышленность.

Реконфигурацию роя можно разбить на две части: генерацию траектории и назначение. Обе эти части могут быть записаны как задачи оптимизации. Задача назначения требует построения оптимального отображения, которое назначает каждому космическому аппарату желаемую цель. Как только задание определено, может быть решена задача генерации траектории, чтобы определить последовательность управления и траекторию, по которой космический аппарат должен следовать, чтобы безопасно прибыть в нужное положение.

Цель реконфигурации роя состоит в том, чтобы найти траектории, которые приведут рой от его текущей формы к желаемой форме при выполнении следующих задач:

- сведите к минимуму расход топлива, используемого для следования по траектории
- избегайте столкновений с другими БПЛА
- достигьте желаемой формы
- убедитесь, что оптимальная последовательность управления обеспечивает оптимальную траекторию при применении к относительной динамической модели.
- убедитесь, что бпла может следовать по траектории, не превышая своей максимальной тяги
- если нет заранее определенного назначения, т.е. БПЛА однородны, определите назначение, которое минимизирует расход топлива, используемого для следования по результирующим траекториям.

При групповом облете территории БПЛА быстрее могут обрабатывать информацию в реальном времени. Для держания строя все устройства должны определять свои координаты. Объективным критерием точности определения координат объектов по фотоматериалам является среднеквадратическая ошибка (СКО) контрольных точек.

$$\Delta XY = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l}_i)^2}, \quad (5)$$

где  $\Delta XY$  – СКО в плане,  $n$  – количество контрольных точек,  $l_i$  – измеренные тахеометром плановые координаты контрольной точки,  $\bar{l}_i$  – измеренные на снимках плановые координаты контрольной точки.

Основной метод групповой системы управления основан на независимом управлении траекторией и процессом работы каждого БПЛА. БПЛА определяют свои



действия во время полета, и эти действия должны обеспечиваться другими БПЛА группы наиболее эффективным образом, то есть обеспечиваться с наименьшими затратами для группы и достигать максимального успеха, а система искусственного интеллекта [16-20] при запуске БПЛА группой выполнит задачу 9 из 10 выполняет и координирует решение целевой задачи.

Основными принципами коллективного управления БПЛА являются [21]:

- каждый член коллектива группы самостоятельно формирует свое управление (определяет свои действия) в текущей ситуации;

- выбор действий каждым членом коллектива осуществляется только на основе информации о коллективной цели, стоящей перед группой, ситуации в среде в предыдущей отрезок времени и в текущий момент, своего текущего состояния и текущих действий других членов коллектива;

- в качестве оптимального действия каждого члена коллектива в текущей ситуации понимается такое, которое вносит максимально возможное приращение целевого функционала при переходе системы «коллектив-среда» из текущего состояния в конечное; оптимальное управление реализуется членами коллектива в течение ближайшего отрезка времени в будущем, а затем определяется новое действие;

- допускается принятие компромиссных решений, удовлетворяющих всех членов коллектива, то есть каждый член коллектива может отказаться от действий, приносящих ему максимальную выгоду, если эти действия приносят малую выгоду или даже ущерб коллективу в целом.

Метод коллективного управления является эффективным при использовании в распределенных мультиагентных системах [22]. К основным преимуществам относится низкая вычислительная сложность алгоритмов, что позволяет за короткие промежутки времени принимать оптимальные или близкие к ним решения в условиях динамически изменяющейся ситуации. В качестве перспективного решения рассматриваются методы роевого интеллекта (Swarm intelligence), базирующиеся на моделировании коллективного интеллекта [23]. Роевой интеллект описывает коллективное поведение децентрализованной самоорганизующейся системы, природного или искусственного происхождения. Наиболее известными роевыми алгоритмами являются [24]: – алгоритм муравьиной колонии; – пчелиный алгоритм; – алгоритм роя частиц. Общая схема работы роевых алгоритмов основана на выполнении следующих этапов [25]. В области поиска создаётся некоторое число начальных приближений к искомому решению задачи — инициализируется популяция агентов. С помощью набора миграционных операторов (специфической тактики для каждого из роевых алгоритмов) агенты перемещаются в области поиска таким образом, чтобы в конечном счёте приблизиться к искомому экстремуму целевой функции. Выполняется проверка условия окончания итераций. Если это условие выполнено, то вычисления завершаются. При этом в качестве приближенного решения принимается лучшее из найденных положений агентов. Если условие не выполнено — выполняется возврат к этапу 2. Колония представляет собой систему с очень простыми правилами автономного поведения особей. Однако, несмотря на примитивность поведения каждого отдельного агента, поведение всей колонии оказывается достаточно разумным. Таким образом, основой поведения колонии служит низкоуровневое взаимодействие, благодаря которому колония в целом представляет собой разумную многоагентную систему [26].

### **Результаты.**

*Создание кода симуляции управлением группы БПЛА.*

В данной задаче создается симуляция управления группой БПЛА, которое работает по запрограммированному принципу. Код управления и симуляции записан в программе

MATLAB. Группа БПЛА в задаче состоит из 3 объектов которые летят в строю. Создаем 3 БПЛА объекта под аргументами p, t, c и задаем им начальные координаты. Также добавляем шкалу времени и прописываем им код траектории и движения, по которому они будут лететь. По пути полета группы БПЛА им будут встречаться препятствия. Они будут появляться в случайных точках. Это нужно для того, чтобы проверить что наша модель управления группой БПЛА обучена и умеет менять траекторию при встрече препятствий в разных ситуациях. Препятствия в коде обозначаются аргументом wallpoint и создаются в случайных координатах с помощью функции rand () языка MATLAB.

Приступаем к созданию управления группой БПЛА. Все 3 объекта БПЛА добавляем в список и называем его uavList. Создается несколько уровней логического цикла for. Первый уровень берет объект из списка uavList, следующие 2, 3 уровень определяют координаты препятствия, которые встречаются перед группой БПЛА. Далее с помощью логического оператора if задаем параметры изменения траектории полета при обнаружении препятствия на пути. В первом условии логического оператора if мы задаем изменение полета по координате X и во втором по Y. аргументам n устанавливаем расстояние на которое будут менять свою траекторию наши БПЛА объекты. Конечный код программы будет выглядеть следующим образом (Рисунок 3 а,б).

```
1 clear
2
3 f = figure
4 ax = axes(f, Xlim=[0 10], Ylim=[0 10])
5
6 al = animatedline(ax, "MaximumNumPoints", 50)
7 addpoints(al, 0, 0, 0)
8
9
10 hold on
11
12 wallpoint = plot(3, 3, 'o')
13
14 p = plot(0, 0, 'or')
15 t = plot(1, 0, 'or')
16
17 hold off
18
19 clock = 0
20
21 while isvalid(f)
22     x = 0 + clock
23     y = 0 + clock
24
25     p.XData = x
26
27     t.XData = x
28     t.YData = y + 1
29
30     if p.XData+0.1 >= 2.75 & p.XData-0.1 <= 3.7
31         p.XData = p.XData-0.5
32     end
33
34     if t.XData+0.1 >= 2.75 & t.XData-0.1 <= 3.4
35         t.XData = t.XData+0.5
36     end
37
38     clock = clock + 0.01
39     drawnow
40 end
```

a)

b)

Рисунок 3 - Листинг программы

С помощью этого кода мы создаем симуляцию полета группы БПЛА. При запуске нашей программы мы можем видеть следующее

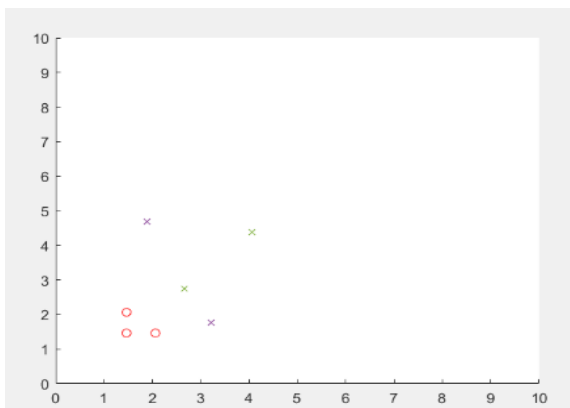


Рисунок 4 - Симуляция полета строя БПЛА

На рисунке 4 мы видим 3 красных круглых объекта, которые являются нашими беспилотными летательными аппаратами. Они летят из нижнего угла слева в верхний правый угол. Случайные крестики на поле - это препятствия, которые случайным образом появились по координатам. Понятно, что для поддержания хорошего контроля за эксплуатационными характеристиками пласта во время навигации. В данной статье предлагается метод программного моделирования [27]. При приближении вплотную к препятствию объект формирования БПЛА, на пути которого он находится, совершает маневр, чтобы изменить свою траекторию и облететь препятствие на своем пути, а затем возвращается в систему. Этот маневр можно увидеть на рисунке 5.

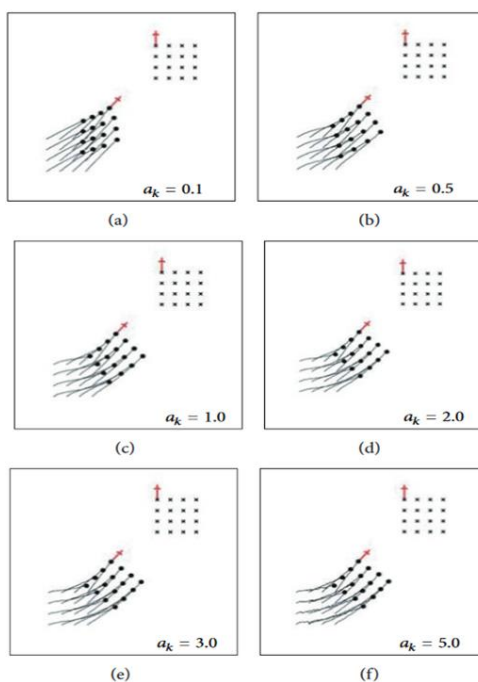


Рисунок 5 - Препятствия на пути строя БПЛА

На рисунке 6 очень удачно показано при компьютерном моделировании расположение системы управления беспилотным летательным аппаратом в виде, необходимом для ее целевого выполнения. Несмотря на это, наша система управления



обнаруживает препятствия перед нами, и вся команда успешно внедряет свою систему для обхода препятствия.

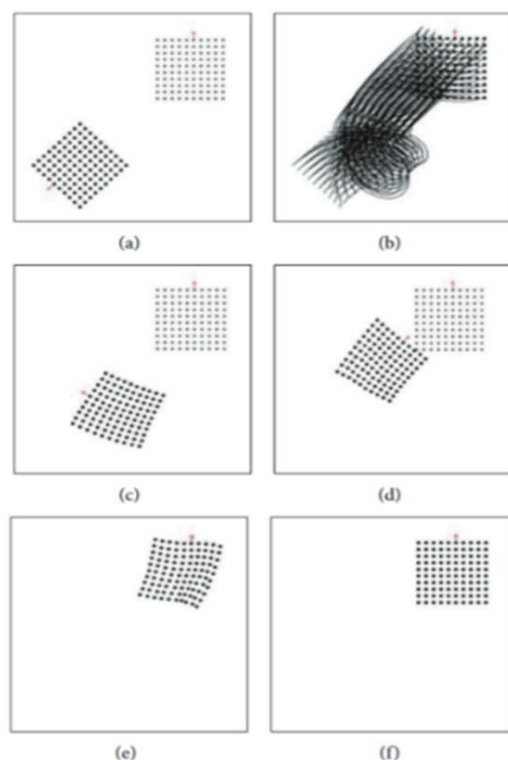


Рисунок 6 - Маневр строя БПЛА для обхода препятствий

Боевые группы беспилотных летательных аппаратов облетают препятствия и встают на место, не теряя своего строя. Моделирование прошло успешно.

### Обсуждение.

Анализ результатов показал эффективность разработанной интеллектуальной системы автоматического управления БПЛА. Благодаря своим возможностям дистанционного управления дроны контролируют местоположения, сообщают о возможных опасностях и уведомляют об угрожающих условиях, таких как нефте- и газоперерабатывающие заводы, трубопроводы и факельные трубы. В списке литературы получен метод исследования влияния на распространение сигнала в диапазоне [28].

В действительности проведенная численная оценка качества алгоритма показала, что система хорошо оценивает расстояние до встречи с препятствиями. Поскольку в использованной программе управления оценка расстояния препятствия рассчитывается на расстоянии перед устройством были введены дополнительные функции оценки изменения траектории для полета после облета препятствия. Это необходимо для избегания мелких повреждений аппарата, которые могут возникнуть при задавании препятствий тыльной частью. На примере симуляции было доказано что система управления хорошо оценивает степени расстояния и вносит равный вклад в достоверность результатов эксперимента, что подтверждает истинность итоговой оценки при тестировании. По результатам исследования наибольшая эффективность работы интеллектуальной системы тестирования на основе заданного алгоритма достигается при расстоянии не менее 150% от размера аппарата для совершения безопасного маневра. При этом, необходимо отметить, что дальнейшее уменьшение длины этого расстояния в тестах симуляции привело бы к существенному увеличению риска повреждения устройств. Обоснован

вывод, что при меньшей длине расстояния время, потраченное на совершение маневра больше, а при большей длине расстояния время совершения маневра меньше, но это повредит анализу информации. Оптимальная эффективность работы алгоритма установлена на расстоянии 150% от размеров дронов. Таким образом, установлена эффективность оптимизации процесса тестирования, повышающая уровень контроля и качество оценки, что позволяет оперативно и беспристрастно выявлять уровень усвоения знаний, умений и навыков, сформировать потребность и умения самоанализа и самоконтроля.

Групповой полет БПЛА автоматически устраняет препятствия, встречающиеся на пути своего полета. По сравнению с простой автоматической системой управления система командного управления достигает 9 из 10 полного выполнения целей задачи. Это реализовано за счет установки технологии в систему группового управления мобильными объектами. Поэтому на практике использование системы группового пуска в современных самолетах дает весьма эффективные результаты.

### **Выводы.**

Данная работа посвящена анализу и созданию модуля управления группой строя БПЛА с применением информационно-измерительных технологий. Система группового управления — это метод, основанный на движениях пчел и муравьев в природе, и этот метод основан на искусственном интеллекте. Это реализовано за счет установки технологии в систему группового управления мобильными объектами. Запускаемые командой БПЛА продолжают летать, автоматически устраняя препятствия, возникающие на пути полета, а цели и задачи миссии достигаются в 9 случаях из 10. Сохраняя основные принципы данной системы группового управления и учитывая входы информационно-измерительного устройства, учитывая параметры полета БПЛА, была построена математическая модель в комплексе MATLAB&Simulink.

Был использован код в симуляции MATLAB для построения алгоритмов полета группы БПЛА. Это перспективное направление в области использования управления БПЛА. Их объединение в группы или в рой помогают сократить время исполнения данных им задач путем увеличения числа возможностей и охвата. В случае с дронами, после их объединения в рой, каждый дрон управляется собственной автоматикой, а поведением роя может управлять программа с элементами ИИ или один (несколько) операторов.

Благодаря разработанной системе управления и машинного обучения мы смогли научить группу БПЛА облетать препятствия на пути, не теряя своего строя. Это сильно поможет в выполнении их задач и даст больше возможностей для полета более трудоемких местах фауны и флоры.

В результате решения поставленных научно-практических задач и исследований представлены обоснованные технические и технологические решения, обеспечивающие улучшение технических и эксплуатационных характеристик ИИУС многофункциональных БПЛА за счет создания системы информационного обеспечения – аналитико-имитационных моделей, структурно-параметрической оптимизации моделей и контроля параметров сложных технических объектов, что обеспечивает повышение эффективности выполнения многоцелевыми БПЛА народнохозяйственных и специальных задач в условиях экономии ресурсов на создание и внедрение сложных технических систем.

В этой работе написав код управления для роя БПЛА мы смогли воссоздать симуляцию их движений полета и увидели их поведение. Это технология поможет в будущих полетах роя БПЛА даже при встрече с препятствием совершить реконфигурацию и снова занять необходимый строй для продолжения своей миссии.

Машинное обучение и программное управление настраивает относительное положение объекта в строю, чтобы максимально увеличить площадь охвата небольших тел странной формы, что является не простой задачей в миссии. Ожидается, что скоординированный облет будет экономически выгоднее для облета небольшого тела, чем изменение высоты полета.

В групповом управлении системой управления БПЛА создана модель системы, способная самостоятельно принимать решения на основе искусственного интеллекта. Это было реализовано за счет совершенствования методов обучения и обучения методом искусственного интеллекта и освоения одной системы в групповом управлении. При этом были рассмотрены основные проблемы при разработке и создании систем группового управления. В данной работе авторами апробирован данный алгоритм. Получены методы на основе искусственного интеллекта с использованием этикета. Основное внимание уделено проблемам управления и обеспечения коммуникации в группе, а также рассмотрены методы грамотной организации в аппаратных средствах измерения. Многоагентная адаптивная система может использоваться для управления парком дронов. Многие БПЛА допускают разработку и дальнейшую эксплуатацию, и удешевление системы управления. Для организации взаимодействия внутри группы БПЛА применялись алгоритмы роя, с использованием проектирования программного комплекса в среде MATLAB&Simulink.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] D. Wu et al., “ADDSSEN: Adaptive Data Processing and Dissemination for Drone Swarms in Urban Sensing,” *IEEE Transactions on Computers*, vol. 66, no. 2, pp. 183-198, 2017; doi: 10.1109/TC.2016.2584061.
- [2] L. M. S. Bine, A. Boukerche, L. B. Ruiz and A. A. F. Loureiro, “IoDSCF: A Store-Carry-Forward Routing Protocol for joint Bus Networks and Internet of Drones,” *2022 IEEE 42nd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, 2022, pp. 950-960; doi: 10.1109/ICDCS54860.2022.00096.
- [3] T. Wu, P. Yang, Y. Yan, P. Li and X. Rao, “Near Optimal Route Association with Shannon Model in Multi-Drone WSNs,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 60869-60880, 2018; doi: 10.1109/ACCESS.2018.2874661.
- [4] J. R. Scalea, S. Restaino, M. Scassero, G. Blankenship, S. T. Bartlett and N. Wereley, “An Initial Investigation of Unmanned Aircraft Systems (UAS) and Real-Time Organ Status Measurement for Transporting Human Organs,” *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, vol. 6, pp. 1-7, 2018; doi: 10.1109/JTEHM.2018.2875704.
- [5] K. Peng et al., “Wide-Area Vehicle-Drone Cooperative Sensing: Opportunities and Approaches,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 1818-1828, 2019; doi: 10.1109/ACCESS.2018.2886172.
- [6] S. J. Yoo, “Neural-Network-Based Adaptive Resilient Dynamic Surface Control Against Unknown Deception Attacks of Uncertain Nonlinear Time-Delay Cyberphysical Systems,” *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 31, no. 10, pp. 4341-4353, 2020; doi: 10.1109/TNNLS.2019.2955132.
- [7] X. Yue, Y. Feng, B. Jiang, L. Wang and J. Hou, “Automatic Obstacle-Crossing Planning for a Transmission Line Inspection Robot Based on Multisensor Fusion,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 63971-63983, 2022; doi: 10.1109/ACCESS.2022.3183125.
- [8] R. -G. Li and H. -N. Wu, “Iterative Approach With Optimization-Based Execution Scheme for Parameter Identification of Distributed Parameter Systems and its Application in Secure Communication,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 67, no. 9, pp. 3113-3126, 2020; doi: 10.1109/TCSI.2020.2983570.

[9] A.V. Poltavskii, A.S. Zhumabayeva, N.K. Yurkov, “Information system: Criteria substitution control,” *Reliability and quality of complex systems*, vol.4, no.16, pp.18-25, 2016 (in Kazakh).

[10] A.K. Grishko, A.S. Zhumabayeva, N.K. Yurkov, “Management of electromagnetic stability of radio-electronic systems based on a probabilistic analysis of the dynamics of the information conflict,” *Measurement. Monitoring. Control. Control*, vol.4, no.18, pp.66-75, 2016 (in Kazakh).

[11] A.V. Poltavskii, A.S. Zhumabayeva, N.K. Yurkov, “Algorithm for determining the radiation indicatrix of a moving object on the examples of a robotic complex of unmanned aerial vehicles,” *Reliability and quality of complex systems*, vol. 3, no. 11, pp. 22-30, 2015 (in Kazakh).

[12] A. Rajagopal et al., “A Deep Learning Model Based on Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Scene Classification in Unmanned Aerial Vehicles,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 135383-135393, 2020; doi: 10.1109/ACCESS.2020.3011502.

[13] B. Du et al., “Mapping Wetland Plant Communities Using Unmanned Aerial Vehicle Hyperspectral Imagery by Comparing Object/Pixel-Based Classifications Combining Multiple Machine-Learning Algorithms,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 14, pp. 8249-8258, 2021; doi: 10.1109/JSTARS.2021.3100923.

[14] X. Luo, Y. Zhang, Z. He, G. Yang and Z. Ji, “A Two-Step Environment-Learning-Based Method for Optimal UAV Deployment,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 149328-149340, 2019; doi: 10.1109/ACCESS.2019.2947546.

[15] J. Zhang, Z. Yu, S. Mao, S. C. G. Periaswamy, J. Patton and X. Xia, “IADRL: Imitation Augmented Deep Reinforcement Learning Enabled UGV-UAV Coalition for Tasking in Complex Environments,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 102335-102347, 2020; doi: 10.1109/ACCESS.2020.2997304.

[16] A. E. Ashurov, “On the probability of stellar encounters in globular clusters,” *The Astronomical Journal*, vol. 127, pp. 2154-2161, 2004; doi: 10.1086/382840.

[17] S.K. Atanov, Z.Y Seitbattalov, Z.S. Moldabayeva, “Development an Intelligent Task Offloading System for Edge-Cloud Computing Paradigm,” *2021 16th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO)*, pp. 1-6, 2021; doi: 10.1109/ICECCO53203.2021.9663797.

[18] A. Akbar and P. R. Lewis, “Self-Adaptive and Self-Aware Mobile-Cloud Hybrid Robotics,” *2018 Fifth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security*, 2018, pp. 262-267; doi: 10.1109/IoTSMS.2018.8554735.

[19] K. Amelin, K. Tyushev and V. Kaliteevskii, “Communication and maintaining of data integrity method for decentralized network of autonomous group of mobile robots,” *2016 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 2016, pp. 372-377; doi: 10.1109/CoDIT.2016.7593591.

[20] O. Tymochko, O. Timochko, A. Trystan, O. Matiushchenko and A. Berezhnyi, “Method of Automated Flight Route Planning for Unmanned Aerial Vehicles to Search for Stationary Objects,” *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, 2020, pp. 242-246; doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125084.

[21] A.K. Yemelyev, K. Moldamurat, R.B. Seksenbaeva, “Development and Implementation of Automated UAV Flight Algorithms for Inertial Navigation Systems,” *2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, pp. 1-5, 2021; doi: 10.1109/SIST50301.2021.9465965.

[22] Y. Shen, Z. Pan, N. Liu, X. You, “Performance analysis of legitimate UAV surveillance system with suspicious relay and anti-surveillance technology,” *Digital Communications and Networks*, vol. 8, pp. 853-863, 2022; doi:10.1016/j.dcan.2021.10.009

[23] K. Moldamurat, et al., “Computer simulation of intelligent control systems for high-precision cruise missiles,” *2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, pp. 1-6, 2022; doi: 10.1109/SIST54437.2022.9945703.

[24] E. Chu, J. Min Kim, B. Chul Jung, “Interference modeling and analysis in 3-dimensional directional UAV networks based on stochastic geometry,” *ICT Express* 5, pp. 235-239, 2019.

[25] K.K. Adilzhan, A.K. Sabyrzhan, T.Z. Timur, “The Usage of Extended Kalman Filter to Increase Navigation Accuracy of Mobile Units in Closed Spaces,” *2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, pp. 1-5, 2021; doi: 10.1109/SIST50301.2021.9465903.

[26] A.S. Utegen, K. Moldamurat, A.G. Amandykuly, S.S. Brimzhanova, “Development and modeling of intelligent control system of cruise missile based on fuzzy logic,” *2021 16th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO)*, pp. 1-6, 2021; doi: 10.1109/ICECCO53203.2021.9663808.

[27] Z.Y. Seitbattalov, S.K. Atanov, Z.S. Moldabayeva, “An Intelligent Decision Support System for Aircraft Landing Based on the Runway Surface,” *2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, pp. 1-5, 2021; doi: 10.1109/SIST50301.2021.9466000.

[28] A. Kyzyrkanov, S. Atanov, S. Aljawarneh, “Coordination of movement of multiagent robotic systems,” *2021 16th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO)*, pp. 1-4, 2021; doi: 10.1109/ICECCO53203.2021.9663796.

**Хуралай Молдамурат**, к.т.н., доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, moldamurat@yandex.kz

**Асель Жумабаева**, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, almatyaseri@mail.ru

**Асыл-Дастан Базарбек**, PhD, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, asyl.bazarbek.92@mail.ru

**Сабыржан Атанов**, т.ғ.д., профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, atanaov5@mail.ru

**Кайрат Ахметов**, PhD, доцент м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, kairat.telektesovich@gmail.com

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АҚПАРАТТЫҚ ӨЛШЕУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ БАР ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫН ТОПШЕН ҰШЫРУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ**

**Аңдатпа.** Бұл мақалада жасанды интеллект негізінде ұшу аппаратын басқарудың топтық жүйесін әзірлеу қарастырылады. MATLAB&Simulink ортасындағы басқару жүйелерінде ұжымдық интеллектті модельдеу үшін үйір алгоритмдерін қолдану мүмкіндігі қарастырылған. Ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану саласындағы перспективалық бағыт оларды топтарға немесе үйірге біріктіру болып табылады. Жәндіктерде рөлдік ұйымдастыру принципі бар. Дрондар жағдайында әрбір дрон өзінің автоматикасымен басқарылады, ал Ройдың мінез-құлқын жалпы жасанды интеллект элементтері бар бағдарлама басқарады. Үйір әдісі ұшқышсыз ұшу аппараттары тобын басқару міндеттері үшін өте тиімді. Бұл, мысалы, өрт аймақтарын немесе әскери нысандарды түсіру, киноиндустрияда 4D және 3D фильмдер түсіру және т.б. сияқты Жер бетін зерттеу міндеттері.



**Түйінді сөздер.** Ұшқышсыз ұшу аппараты, автоматты басқару жүйесі, ұшу траекториясы, машиналық оқыту, өлшеу құрылғылары.

**Khuralai Moldamurat**, candidate of technical sciences, docent, Eurasian National University after L. N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, moldamurat@yandex.kz

**Assel Zhumabayeva**, senior lecturer, Eurasian National University after L. N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, almatyaseri@mail.ru

**Assyl-Dastan Bazarbek**, PhD, senior lecturer, Eurasian National University after L. N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, asyl.bazarbek.92@mail.ru

**Sabyrzhan Atanov**, doctor of technical sciences, professor, Eurasian National University after L. N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, atanaov5@mail.ru

**Kairat Akhmetov**, PhD, acting docent, Eurasian National University after L. N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, kairat.telektesovich@gmail.com

### **EFFICIENCY OF GROUP LAUNCHES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES WITH INFORMATION MEASURING DEVICES BASED ON AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM**

**Abstract.** This article discusses the development of a group-based aircraft control system based on artificial intelligence. The possibility of using swarm algorithms for modeling collective intelligence in control systems in the MATLAB&Simulink environment is considered. A promising direction in the field of the use of unmanned aerial vehicles is their association in groups or in a swarm. The principle of swarm organization is observed in insects. In the case of drones, each drone is controlled by its own automation, and the behavior of the swarm as a whole is controlled by a program with elements of artificial intelligence. The swarm method is very effective for the tasks of controlling a group of unmanned aerial vehicles. These are, for example, tasks of studying the Earth's surface, such as shooting fire zones or military facilities, creating 4D and 3D films in the film industry, and more.

**Keywords.** Unmanned aerial vehicle, automatic control system, flight path, machine learning, measuring devices.

\*\*\*\*\*