

# ПРЕЦЕДЕНТНЫЙ МЕТОД ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Михайлова Е.С.

*Главный научно-исследовательский испытательный межвидовой центр перспективного вооружения, Москва, Россия.  
ekaterinaolimp89@gmail.com*

*Аннотация. Обоснована необходимость разработки нового метода группового управления децентрализованного вида, основанного на прецедентах. Описан метод прецедентного группового управления, его основные положения, преимущества и недостатки. Практическая значимость заключается в упрощении процессов принятия решений в сложных ситуациях при выполнении коллективных задач группами объектов управления в условиях активно противодействующей среды.*

*Ключевые слова: прецедент, групповое управление, беспилотные летательные аппараты, группа, искусственный интеллект.*

## Введение

В последние годы появилось огромное количество публикаций по методам группового управления в связи с активным переходом к использованию групп беспилотных летательных аппаратов для решения народно-хозяйственных и военно-технических задач [1]. К сожалению, в литературе либо описывается общий подход к групповому управлению, не раскрывающий его практической реализации, либо описываются сугубо практические алгоритмы для решения одной из многочисленных частных задач, входящих в число обязательных при исследовании группового управления [2, 3 и др.]. Обозначенные проблемы показывают, что существующие методы не всегда способны эффективно обеспечивать взаимодействие и адаптацию группы в сложных и изменяющихся условиях. Также решение задач непосредственно на борту беспилотных летательных аппаратов, входящих в группу, выдвигает существенные требования к бортовым спецвычислителям.

Указанное требует разработки метода, который, с одной стороны, обеспечил бы заблаговременное обучение группы стратегиям действий в конфликтной противодействующей среде, а с другой – обеспечивал бы адаптацию группы к реальной ситуации при минимальных вычислительных затратах.

Предложенное направление исследований в области группового управления беспилотными летательными аппаратами (БЛА) имеет важное значение как для военных, так и для гражданских задач.

Для решения такого рода групповых задач предлагается использовать прецедентный метод группового управления. В данном методе используется опыт предыдущих схожих ситуаций. Заблаговременное обучение позволит группе БЛА адаптироваться к потенциальным угрозам и находить оптимальные решения, исходя из предоставленных данных.

## 1. Актуальность заблаговременного обучения группы стратегиям действий в агрессивной среде

В последние годы особое внимание стало уделяться применению групп БЛА. Групповое управление имеет широкий спектр применений, начиная от военных операций и разведки до коммерческих и научных задач. Координация действий нескольких беспилотных аппаратов позволяет решать сложные задачи более эффективно и оперативно. Например, военные операции могут включать в себя совместное действие БЛА для наблюдения, сбора информации или выполнения миссий безопасности. В коммерческой сфере группа беспилотных летательных аппаратов может использоваться для мониторинга сельскохозяйственных угодий, доставки товаров или обеспечения безопасности на территории предприятия. Управление группой БЛА требует разработки сложных алгоритмов и систем связи, а также строгой координации действий каждого устройства. Однако при правильной организации и программировании такие системы могут значительно повысить эффективность и масштабность автономных операций в различных областях.

Во многих практических задачах, особенно военно-технических, требуется обеспечить согласованное движение группы разнотипных беспилотных средств в пространстве и во времени, в том числе, в условиях спонтанно возникающего противодействия.

Для дистанционно управляемых БЛА это может быть достигнуто предварительной договоренностью операторов, составлением и реализацией соответствующих планов действий по приведению беспилотных средств, в частности БЛА, в заданные точки пространства в заданное время.

На практике в силу влияния факторов различной природы (как объективных природных, так и субъективных, например, активного целенаправленного влияния средств и систем противодействия) заранее согласованные планы практически никогда не выполняются. Ошибки при выполнении коллективной миссии группы БЛА могут иметь критический характер.

Функционирование БЛА в противодействующей среде неразрывно связано с его процессом и результатом обучения. В условиях возможной временной потери связи БЛА должен действовать не только в соответствии с заранее определенной стратегией своего поведения, но также и адаптируясь к внешним воздействиям [4].

Актуальность заблаговременного обучения группы заранее продуманным стратегиям действий в агрессивной среде является важной темой, особенно, в условиях изменяющейся окружающей среды и неопределенности. Обучение группы БЛА стратегиям действий может значительно повысить шансы на успешное выполнение миссии. Заблаговременное обучение позволит группе БЛА заранее определить потенциальные угрозы и выработать подходящую стратегию действий, что способствует снижению потерь в агрессивной среде и успешному выполнению миссии.

Прецедентный подход широко применяется в различных областях, таких как искусственный интеллект, системы группового управления, медицина, техническое обслуживание, финансы и многое другое. Актуальность прецедентного подхода в групповом управлении связана с необходимостью создания гибких и адаптивных систем, способных быстро реагировать на изменяющиеся условия и эффективно решать сложные задачи.

Ключевым понятием прецедентного метода является прецедент [5]. Под прецедентом в общепотребительном смысле понимается событие или ситуация, которая произошла в прошлом и имеет значение для будущего как положительный или отрицательный пример. Прецедент (case, past case, previous case, stored case, retained case, precedent или episode) можно формализовать как единичную запись предыдущего опыта [6]. Прецеденты представляют собой пары «проблема – решение», где проблема – конкретная ситуация или задача, а решение – способ, которым она была решена.

Идея разрабатываемого прецедентного метода состоит в том, чтобы на борту БЛА находился набор стратегий, состоящие из связки «ситуация-действие». Объекты заранее обучены применению стратегий действий при выполнении миссии, выбирая при этом наиболее выгодную в данных условиях.

Таким образом, заблаговременное обучение группы БЛА стратегиям действий является актуальной задачей, так как это способствует более быстрому и эффективному принятию решений в реальных условиях и успешному выполнению миссии.

## 2. Основные положения прецедентного метода группового управления

Разработанный прецедентный метод основан на CBR-методе, адаптированном для группового управления. Данный метод учитывает прошлый опыт и позволяет принимать более выгодные решения в текущей ситуации.

Логика прецедентного подхода имеет следующую структуру (рисунок 1). Сначала определяются сущности прецедента, такие как объект, группа, среда, сложившаяся ситуация, принятое решение. Прецедент описывается логико-лингвистической моделью [7], в которой учитываются все сущности. Далее данная модель применяется для классификации прецедента. Классификация необходима для удобства поиска ближайших прецедентов к текущей ситуации. Прецеденты классифицируются по ряду выделенных классов и признаков. Предлагается классифицировать прецеденты фасетным методом с помощью фасетной формулы, основанной на логико-лингвистической модели [8]. После принятия решения по ситуации формируется новый прецедент. Типовая фасетная формула для прецедентов группового управления имеет следующий вид:

$$GP=(RL\vee TY\wedge A\vee DS\vee V\wedge EF\vee TR)\wedge(F\wedge M\wedge ST\vee N\vee K\vee FT)\wedge(GE\wedge C\wedge PF\vee AF\vee TC)\wedge \\ \wedge(T1\vee T2\vee T3)\wedge(RO\vee RG)$$

где RL – роль объекта в группе; TY – тип объекта; A – уровень автономности группы; DS – максимальная дальность действия группы; V – уязвимость группы; EF – эффективность действия группы; TR – обученность группы; F – тип группы; M – миссия группы; ST – стратегия группы; N – мощность группы; K – вид группы; FT – геометрия действий группы в пространстве; GE – географический район; C – сложность местности/пространства мониторинга; PF – пассивные факторы среды; AF – активные факторы среды; TC – тип противодействия; T1 – факты (фиксация происходящего); T2 – события как логическая связка фактов; T3 – ситуации как логическая связка

событий (задача – решение – эффект); RO – решения для действий объектов, включенных в группу; RG – решения для действий группы.

Для применения прецедентного метода необходимо обучить объекты прецедентам. Однако количество прецедентов, полученных из реальной практики, ограничено, и для увеличения обучающей выборки необходимо создать «синтетические» прецеденты. С помощью синтетических данных возможно смоделировать разнообразные ситуации, таким образом добившись увеличения разнообразия сценариев, моделирование редких, но критичных ситуаций.

Множество всех прецедентов, накопленных в процессе функционирования системы, образует информационное хранилище, называемое библиотекой прецедентов [9].

При поступлении новой задачи анализируются уже имеющиеся прецеденты, находится наиболее близкий к текущему и адаптируется для новой ситуации. При отсутствии подходящего прецедента в библиотеке подбирается подходящая стратегия решения задачи. Новый прецедент после анализа и классификации заносится в библиотеку. То, какую именно информацию содержит такая запись, зависит от предметной области и целей использования прецедента.

Для расширения библиотеки прецедентов предлагается использовать синтетические прецеденты, сгенерированные с помощью аугментации. Это может решить проблему нехватки прецедентов. Искусственно сгенерированные сценарии, созданные путем комбинации реальных данных и параметрического моделирования, расширяющие базу знаний системы без дополнительных полевых испытаний.

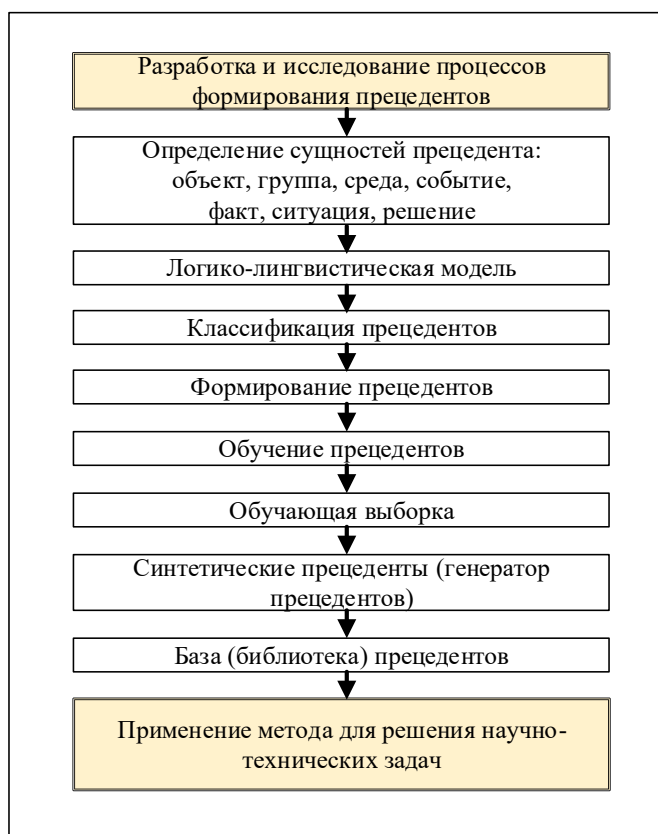


Рис. 1. Логика построения прецедентного подхода

Использование прецедентного метода группового управления помогает не только улучшить качество принимаемых решений, но и способствует накоплению опыта и знаний для успешного выполнения последующих миссий. Некоторые преимущества:

- Прецедентный метод учитывает не только текущие данные, но и опыт предыдущих решений, благодаря чему повышается качество принимаемых решений даже в условиях неопределенности среды.
- Прецедентный метод повышает автоматизацию процесса принятия решений.
- Создание гибких и адаптивных систем. Они способны быстро реагировать на изменяющиеся условия и эффективно решать сложные задачи.

- Благодаря прецедентному методу повышается автономность как отдельных БЛА, так и группы в целом.

Таким образом, прецедентный подход широко применяется в различных областях, таких как искусственный интеллект, системы группового управления, медицина, техническое обслуживание, финансы и многое другое. Он позволяет создавать гибкие и адаптивные системы, способные быстро реагировать на изменяющиеся условия и эффективно решать сложные задачи.

### 3. Прецедент решения задач мониторинга окружающей среды

БЛА широко используются мониторинга окружающей среды. С помощью БЛА возможно наблюдение за обширной территорией с помощью небольшого количества аппаратов, что значительно упрощает задачу мониторинга и сокращает время на ее выполнение. Они позволяют дистанционно отслеживать природные явления, вести наблюдение за промышленными объектами, отслеживать перемещения противника, мониторинг и опознание различных движущихся объектов и др.

БЛА способны быстро и эффективно собирать геопространственные данные. Они могут использоваться для фотограмметрии, где с помощью камер создаются высококачественные аэрофотоснимки, которые затем обрабатываются для создания 3D-моделей и карт. Также БЛА способен вести наблюдение в опасных и трудных для маневрирования местах, в которых имеется вероятность столкновения с предметами или живыми существами, например, в лесу или городе. Применение БЛА позволяет минимизировать риски для личного состава и повысить оперативность реагирования.

Основными задачами мониторинга в военно-технических задачах с использованием БЛА являются:

- **Разведка и наблюдение.** Обнаружение противника с помощью тепловизоров, РЛС, мультиспектральные камеры. После обнаружения цели сопровождаются с помощью технологии искусственного интеллекта (ИИ), в основе которой лежит технология автономного сопровождения целей (AI-based tracking), то есть отслеживание объектов с помощью алгоритмов ИИ. Системы AI-based tracking собирают данные с датчиков, камер или других устройств. Затем эти данные обрабатываются алгоритмами машинного обучения, которые выявляют закономерности, делают прогнозы и предоставляют аналитическую информацию. Модели ИИ учатся на данных и со временем улучшают свою точность. По результатам наблюдения составляется карта размещения и перемещения противника с возможностью дальнейшего 3D-моделирования местности для использования в будущих миссиях [10, 11].
- **Экологический мониторинг в зонах боевых действий.** С помощью группы БЛА возможно выявления химического, биологического, радиационного загрязнения (ХБР-разведка). Для это используются газоанализаторы, спектрометры для обнаружения отравляющих веществ, дозиметры радиации (например, после ядерных инцидентов). С помощью мониторинга группой БЛА за окружающей средой возможно рассчитать коэффициенты суммарных показателей загрязнений, оценить основные источники интенсивного загрязнения тяжёлыми металлами, а также проанализировать динамику изменения показателей загрязнения, что может повлиять на дальнейшие действия в обследуемом районе.
- **Контроль границ и критической инфраструктуры.** Группа БЛА может быть применена для патрулирования границ, периметров военных баз, портов, нефтепроводов, обнаружения диверсионных групп или минно-взрывных устройств (МВУ), что существенно снизит нагрузку на личный состав, повысит безопасность и упростит наблюдение за протяженными территориями.

Среди БЛА для мониторинга можно выделить микро- и мини-БЛА DJI Mavic, RQ-11 Raven, предназначенных для тактической разведки и коротких миссий, БЛА среднего класса Орион, используемый для долго патрулирования, RQ-4 Global Hawk с датчиками для мониторинга загрязнений и зараженных территорий.

Ключевыми технологиями для мониторинга значительных территорий группой БЛА являются:

- ИИ и компьютерное зрение для автоматического распознавания объектов (техники, людей, опасных веществ).
- Стелс-технологии для снижения заметности в зонах работы противовоздушной обороны (ПВО).
- Спутниковая связь для управления БЛА на больших дистанциях.

Применение групп БЛА является перспективной технологией для мониторинга окружающей среды, сочетая высокую мобильность, точность и безопасность. Развитие групп БЛА направлено в сторону повышения автономности, установки специализированных датчиков и интеграции с другими боевыми

системами. Также повышение автономности снизит зависимость от оператора и поможет решить проблему выполнения миссии группы в условиях работы РЭБ.

#### **4. Прецедент решения разнотипных задач в одной миссии**

Современные беспилотные летательные аппараты обладают высокой степенью адаптивности и могут выполнять разнообразные задачи в рамках одной миссии, что подразумевает применение гетерогенной группы БЛА. Это позволяет значительно увеличить эффективность операций и оптимизировать использование ресурсов. Важно отметить, что успешное выполнение разнотипных задач требует высокой автономности БЛА.

Современные БЛА могут быть оснащены различными сенсорами и оборудованием, что позволяет им выполнять широкий спектр задач: от разведки и мониторинга до доставки грузов и проведения поисково-спасательных операций. Например, в одной миссии группа БЛА может включать аппараты, предназначенные для сбора данных, и БЛА, способных осуществлять доставку медикаментов или оборудования в труднодоступные районы. Это многообразие функций позволяет эффективно реагировать на изменяющиеся условия и требования миссии.

Для успешного выполнения разнотипных задач необходима четкая координация между всеми БЛА в группе. Использование современных технологий связи и обмена данными позволяет обеспечить синхронизацию действий аппаратов, что критически важно в условиях, когда время имеет решающее значение.

В реальных сценариях применения группы БЛА для решения разнотипных задач можно привести примеры из сферы охраны окружающей среды, где один БЛА может осуществлять мониторинг состояния экосистемы, а другой – проводить анализ собранных данных и передавать их на центральный сервер. В военных операциях группа БЛА может одновременно выполнять задачи разведки, подавления противника и доставки боеприпасов, что значительно увеличивает шансы на успех миссии.

Примерами БЛА различного назначения в группе могут стать:

- «ZALA 421-16», выполняющий роль разведывательного аппарата и решающий такие задачи, как картографирование или обнаружение целей [12];
- комплекс «Леер-3» с РЭБ-дронами «Орлан-10», использующийся для подавления связи противника [13];
- Ударный БЛА «Ланцет», предназначенный для поражения целей [14].

Примером такой миссии для группы может послужить разведка местности и атака объекта/объектов. Разведывательный аппарат собирает информацию и передает ее на ударные БЛА, которые принимают решение о нанесении ударов по обнаруженным объектам.

Таким образом, способность группы БЛА эффективно решать разнотипные задачи в рамках одной миссии является важным аспектом их применения. Главными преимуществами такого подхода является повышение живучести группы за счет взаимного прикryтия, сокращение времени на выполнение миссии. Однако БЛА в группе должны обладать способностью адаптироваться к изменяющимся обстоятельствам и быстро реагировать на возникшие проблемы без оператора или с минимальным вмешательством, что требует высокой автономности аппаратов, применения технологий ИИ.

#### **5. Прецедент решения задачи «диффузной бомбы»**

Задача о «диффузной бомбе» заключается в том, что группа автономных БЛА должна поразить объект с заданными координатами. При этом предполагается, что каждый БЛА может быть с определённой вероятностью обнаружен и уничтожен системой обороны.

Решение задачи заключается в синтезе алгоритмов децентрализованного взаимодействия агентов и принятия ими решений о направлении и скорости движения, чтобы максимизировать число объектов, достигших цели.

Основная идея повышения эффективности решения этой задачи заключается в создании роем так называемого «антипрецедента». Это затруднит прогнозирование поведения роя и приведёт к невыгодным условиям противодействия миссии роя [15].

Некоторые способы решения задачи:

- Варьирование числом беспилотных летательных аппаратов в составе роя, процентом боевых и ложных объектов в составе роя, а также вариацией размеров и формы роя в пространстве и времени.

- Использование БЛА-разведчиков, которые могут оперативно получать информацию о параметрах системы обороны. Остальные БЛА, получая информацию от разведывательных БЛА, оценивают текущую ситуацию и решают поставленную задачу, опираясь на предыдущий опыт.

Ключевыми требованиями для задачи о «диффузной бомбе» является синхронность нанесения ударов БЛА, способность группы преодолеть ПВО и автономность при потере связи с наземной станцией управления.

Таким образом, решение задачи «диффузной бомбы» минимизирует риски для личного состава: БЛА могут выполнять опасные задачи без угрозы для жизни операторов, а также повышается скорость и точность выполнения миссии. Однако для успешного функционирования и решения задачи о «диффузной бомбе» группе БЛА требуются автономные системы управления, устойчивая коммуникация и адаптивные алгоритмы роевого поведения.

## 6. Заключение

Заблаговременное обучение групп БЛА стратегиям действий является неотъемлемой частью успешного применения беспилотных летательных аппаратов в различных сферах. Оно не только повышает эффективность операций и улучшает взаимодействие между аппаратами. В условиях быстро меняющегося мира, где технологии развиваются с невероятной скоростью, подготовка и обучение становятся ключевыми факторами, определяющими успех миссий.

Качественное обучение групп БЛА – это не просто подготовка к текущим задачам, но и стратегический шаг к будущему, где беспилотные технологии будут играть все более значимую роль в жизни общества. Таким образом, заблаговременное обучение становится основой для эффективного и безопасного использования БЛА, что в свою очередь открывает новые горизонты для их применения в самых различных областях.

В работе приведены примеры возможных задач, таких как задача мониторинга окружающей среды, решение разнотипных задач в одной миссии, задача о «диффузной бомбе», для выполнения, которых требуется применение прецедентного метода группового управления.

## Литература

1. *Норсеев С.А., Багаев Д.В.* Обзор алгоритмов группового управления робототехническими комплексами // ЭС и К. – 2013. – № 21. – С. 137–145. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-algoritmov-gruppovogo-upravleniya-robototekhnicheskimi-kompleksami> (дата обращения: 24.05.2025).
2. *Мустаев А.Ф.* Сравнение видов управления организованной группой роботов // Вестник науки. – 2019. – № 7 (16). – С. 64–67. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-vidov-upravleniya-organizovannoy-gruppy-robotov> (дата обращения: 24.05.2025).
3. Коллективы интеллектуальных роботов. Сферы применения / под ред. В.И. Сырямкина. – Томск: STT, 2018. – 140 с. (Серия: “Интеллектуальные технические системы” (подсерия: “Когнитивная робототехника”)).
4. *Жданов А.А.* Автономный искусственный интеллект. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 359 с.
5. *Варшавский П.Р., Еремеев А.П.* Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – № 2. – С. 45–57.
6. *Крылов А.В.* Проблема извлечения знаний с использованием рассуждений на основе прецедентов, изв. вузов. приборостроение. – 2018. – Т. 61, № 11. – С. 956–962. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-11-956-962.
7. *Михайлова Е.С.* Логико-лингвистическая модель группового прецедента, «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2024), 2025. – С. 1124–1131.
8. *Абросимов В.К., Михайлова Е.С.* Классификация прецедентов группового управления. Информационно-управляющие системы, 2025. – № 2. – С. 27–36. DOI:10.31799/1684-8853-2025-2-27-36, EDN: QEFDEK.
9. *Трофимов И.В.* Планирование на базе рассуждений по прецедентам. Рассуждения по прецедентам – URL: <http://ai-center.botik.ru/planning/index.php?ptl=materials/071cbp.htm>. (дата обращения: 24.05.2025).
10. What is AI-based tracking and complete guide on using AI solutions from ultra waves solutions – URL: <https://altrawaves.in/what-is-ai-based-tracking-and-complete-guide-on-using-ai-solutions-from-ultra-waves-solutions/> (дата обращения: 24.05.2025).
11. Object Tracking in Computer Vision: An In-Depth Exploration and Practical Guide BasicAI's Blog – URL: <https://www.basic.ai/blog-post/object-tracking-in-computer-vision>, (дата обращения: 24.05.2025).
12. Самолет беспилотник ZALA 421-16 ZALA AERO Группа компаний – URL: <https://web.archive.org/web/20140116093406/http://zala.aero/zala-421-16/> (дата обращения: 24.05.2025).
13. Комплекс РБ-341В «Леер-3»: бомбардировщик РЭБ и просто полезный – URL: <https://topwar.ru/136447-kompleks-rb-341v-leer-3-bombardirovshik-reb-i-prosto-poleznyy.html?ysclid=mb21cotmao572541534> (дата обращения: 24.05.2025).

14. Потенциал барражирующих боеприпасов семейства «Ланцет» – URL: <https://topwar.ru/184397-potencial-barrazhirujuschih-boeprirasov-semejstva-lancet.html?ysclid=mb21q95tj3574789287> (дата обращения: 24.05.2025).
15. *Абросимов В.К., Михайлова Е.С.* Задача о «диффузной бомбе» для роя беспилотных летательных аппаратов XIV Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2024 Москва 17-20 июня 2024 г. – С. 1665–1669.