

УДК 656.7.025

# МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАЛОЙ АВИАЦИЕЙ «ПО ЗАПРОСУ»

**В.Г. Елисеев**

*Непубличное акционерное общество «Группа компаний «Генезис знаний»*  
Россия, 121205, Москва, территория Инновационного Центра «Сколково»,  
Большой бульвар, 42, строение 1, этаж 4, помещение 1680  
E-mail: valerii.eliseev@gmail.com

**Ключевые слова:** онтология; база знаний; мультиагентные технологии; планирование; управление ресурсами; воздушный транспорт; малая авиация.

**Аннотация:** Дается краткий анализ проблем малой авиации в России. Для рационального использования самолётов малой авиации, которых в России в настоящее время недостаточно для обеспечения всех потребностей в малых населенных пунктах Сибири, Севера и Дальнего востока, предлагается создание интеллектуальной системы для планирования поступающих заказов на полёты «по запросу». Показывается, что такая система может позволить консолидировать заказы, распределять самолеты малой авиации под полёты и строить маршруты полётов, планировать и оптимизировать доступные самолеты с учетом их вместимости, скорости и других параметров, вести мониторинг и контроль исполнения заказов. Рассматривается подход к реализации системы на основе онтологий и мультиагентных технологий, функции и архитектура системы. Представлены результаты разработки прототипа, показывающие адаптивность и эффективность работы системы, которая поможет жителям в удовлетворении их потребностей.

## 1. Постановка задачи

Россия имеет огромную территорию со своими географическими и климатическими особенностями, что влияет на развитие малой авиации и воздушного транспорта.

Текущая сеть автомобильных и железных дорог недостаточна для быстрого доступа в ряд населенных пунктов, а развитие этих видов транспорта во многом не рентабельно на значительной территории страны.

Использование малой авиации может помочь в решении этих проблем, а также и в решении другого широкого круга социально-экономических и военных задач [1-6]:

- перевозка пассажиров, доставка почты и груза в труднодоступных районах страны;
- выполнение различных сельскохозяйственных работ;
- поддержка вахтенного метода работ;
- оказание срочной медицинской помощи;
- обнаружение и ликвидация кризисных природных и техногенных ситуаций;
- мониторинг окружающей среды, геологоразведки, получения метеопрогнозов;
- решение специфических задач безопасности ФСБ, погранслужбы, МВД, МЧС и многих других задач (обучение летным навыкам, спорт, туризм, реклама и др.).

Однако, на сегодняшний день транспортная система малой авиации в России находится в зачаточном состоянии, для сравнения, в США имеется более 2500 малых аэродромов, где любой желающий может заказать перелёт в нужном направлении.

Сегодня многие суда малой авиации списаны в связи с истечением срока эксплуатации, а новых производится единицы. Данные России по малой авиации в сравнении с другими странами неутешительны. Так, в том же США на 100 тысяч населения приходится 76,5 самолетов малой авиации, в России – 3,1 [1].

Проблемы малой авиации неоднократно обсуждались на самом высоком уровне правительства РФ и имеется ряд решений, так что это направление будет развиваться. Потребителями самолетов малой авиации будет и государство с его различными службами, а также частные корпорации, туристические и экскурсионные компании, операторы регулярных рейсовых перевозок, частные пользователи.

Огромный потенциал у так называемых "аэротакси" - здесь могут быть задействованы десятки тысяч самолётов по стране, но этот процесс займет годы.

В этой связи возникает задача рационального использования формируемого флота малых самолётов для обеспечения необходимых потребностей.

## 2. Подход к решению задачи

Для решения поставленной задачи может быть использована интеллектуальная система управления полётами самолётов малой авиации по «запросу» в масштабе времени, приближенной к реальному.

Такая система может быть разработана с использованием мультиагентных технологий, онтологий и баз знаний, которые уже себя зарекомендовали на практике в различных промышленных решениях [7-8].

Для решения задачи предложено создать прототип интеллектуальной системы управления полётами самолётов малой авиации по «запросу», который состоит из двух подсистем, взаимодействующих между собой: конструктор онтологий и баз знаний и унифицированная интеллектуальная мультиагентная система управления ресурсами.

Конструктор онтологий предназначен для разработки онтологий и формирования на их основе баз знаний под конкретную прикладную область.

Унифицированная мультиагентная система управления ресурсами (УМАС) содержит в своем составе мультиагентный планировщик, который позволяет формировать расписание для ресурсов и адаптивно его перестраивать по событиям в масштабе времени, приближенном к реальному.

В основе построения баз знаний лежит онтологический подход, позволяющий формализовать специфические предметные знания в виде семантической сети, узлами которой являются классы понятий и их экземпляры, а связями – отношения между ними.

База знаний состоит из трех уровней: онтологий, онтологических моделей и сцен. Онтологическая модель описывает конкретные экземпляры объектов. Сцена показывает состояние объектов в конкретный момент времени.

С помощью конструктора онтологий были разработаны и загружены в базу знаний базовая онтология планирования, прикладная онтология логистики и онтологическая модель виртуальной модельной авиакомпании, осуществляющей функции аэротакси, т.е. осуществляющей по заявкам пассажирские авиаперевозки на самолётах, относящихся к малой авиации.

В базовой онтологии планирования были собраны все поддерживаемые понятия и отношения, которыми оперирует мультиагентный планировщик, и которые встроены в его программный код. Это такие базовые классы, как задача, продукт, ресурс и др.

Для описания конкретной предметной области была создана отдельная, прикладная онтология, в данном случае, это онтология логистики.

В онтологию логистики были введены классы понятий и отношений, являющиеся специфическими для данной области. Это такие классы, как процессы, в состав которых входят логистические операции, подразделения, сотрудники, тарифы и др.

На основе прикладной онтологии логистики была создана онтологическая модель виртуальной авиакомпании, в которую были загружены упрощенные модельные данные, предназначенные для проведения испытаний прототипа по адаптивному планированию заказов с помощью мультиагентного планировщика.

Для каждого ресурса задан календарь его доступности, а также технические данные самолёта, необходимые для планирования: крейсерская скорость, количество пассажирских мест.

Также для ресурса задаётся его первоначальное географическое местоположение.

В онтологическая модель было введено два модельных процесса, в зависимости от типа поступающих в систему заказов:

- аренда самолета целиком;
- покупка пассажирского места.

Для упрощения было принято решение на первом этапе в прототипе не учитывать реальные полётные карты. Маршрут перелёта строится по прямой сначала от точки текущего местоположения ресурса до точки забора пассажиров и затем по прямой до точки доставки пассажиров. Длительность перелёта рассчитывается исходя из полётного расстояния и крейсерской скорости самолета.

Также для упрощения в модельном процессе не учитывались некоторые операции, которые сильно зависят от инфраструктуры аэропортов: например, время выруливания самолета по взлётной полосе перед взлётом, время на взлёт и посадку, время выруливания по посадочной полосе после посадки. Модельный процесс состоит только из двух «логистических» операций: перелёт от точки текущего местоположения ресурса до точки забора пассажиров и перелёт до точки доставки пассажиров.

Но в модельный процесс также добавлены и «статические» операции с некоторой статистической длительностью, которые учитывают усреднённые значения времени на технические работы по подготовке к полёту, в том числе по заправке самолёта, а также время на технические работы по завершению перелёта.

### **3. Эксперименты по анализу работы прототипа**

После подготовки модельных данных и их загрузке в базу знаний была проведена серия экспериментов по адаптивному планированию заказов с помощью мультиагентного планировщика, входящего в состав унифицированной мультиагентной системы управления ресурсами.

В процессе испытаний в систему вводились заказы на перевозку пассажиров. В данных заказа указывались плановые сроки выполнения заказа, географические координаты пункта забора и доставки пассажиров, количество пассажиров, а также тип заказа, по которому назначается процесс его выполнения.

Заказы загружались с разными временными ограничениями, с разными пунктами забора и доставки пассажиров, с разным количеством пассажиров в заказе. По мере поступления заказов в систему модуль планирования сразу же приступал к формированию расписания по их выполнению. При этом учитывалось текущее местоположение самолётов и количество свободных мест для пассажиров.

Сформированное расписание анализировалось с помощью различных представлений, которые УМАС предоставляет пользователю:

- с помощью диаграммы Ганта в табличном и графическом виде показывается временной график выполнения отдельных операций по авиаперевозке пассажиров по заказам;
- в окне пункта меню «План-график» можно проанализировать на временной шкале, как распределились заказы на конкретные ресурсы;
- в окне пункта меню «Исполнение» можно проанализировать модельное исполнение сформированного расписания проставляя факты по исполнению операций вручную или автоматически, запустив процесс моделирования;
- в окне пункта меню «Карта» можно детально ознакомиться с построенными маршрутами перелётов, а также добавить в систему новые заказы, имитируя поступление в систему нового события;
- показатели планирования можно посмотреть в окне пункта меню «Отчёт»;
- Экономические показатели можно посмотреть в окне пункта меню «Экономические показатели»;
- Показатели мультиагентной системы можно посмотреть в окне пункта меню «Показатели планировщика».

В процессе испытаний были успешно проведены следующие эксперименты:

- добавление новых заказов с перепланированием расписания ресурсов;
- добавление новых заказов с вытеснением ранее запланированных заказов и перепланированием их на другие ресурсы;
- консолидация заказов, которых невыгодно выполнять по отдельности из-за больших расходов на перелёт в связи с дальним расстоянием;
- перепланирование заказов в случае возникновения непредвиденных событий, например, фиксация факта о недоступности ресурса.

Результаты первых экспериментов показали высокую адаптивность системы, которая позволит обеспечить эффективность использования ресурсов самолётов и пилотов для перевозки пассажиров и грузов в труднодоступных районах.

## 4. Заключение

Успешные испытания, проведённые на прототипе интеллектуальной системы управления полётами самолётов малой авиации по «запросу» в масштабе времени, приближенной к реальному, показали, что применение мультиагентных технологий и баз знаний позволяет эффективно решать сложные задачи управления полётами самолётов малой авиации, достаточно рационально используя доступные ресурсы.

Использование конструктора онтологий позволяет достаточно быстро создавать онтологические модели («цифрового двойника») реальных авиакомпаний и без дополнительного программирования УМАС начинать планировать входящие заказы на авиаперевозку.

Дальнейшие исследования будут направлены на развитие прикладной онтологии и онтологических моделей, на расширение состава операций процессов на авиаперевозки и усложнение функций УМАС, в частности на возможность одновременного планирования разных типов ресурсов и маршрутизации по полётным картам.

## Список литературы

1. Мирный А. Малая авиация в России идет на помощь. 31.05.2022 URL: <https://www.sovsekretno.ru/articles/obshchestvo/malaya-aviatsiya-v-rossii-idet-na-pomoshch26052022/> (дата обращения: 16.01.2024).

2. Просвирина Н.В. Анализ проблем малой авиации в России и возможные пути их решения // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 28 (2). С. 232-238.
3. Соболев Л.Б. Большая миссия малой авиации // Экономический анализ: теория и практика. 2016. № 3. С. 4-16.
4. Есть ли проблема с малой авиацией в России. URL: <https://argumenti.ru/society/2022/09/787826> (дата обращения: 16.01.2024).
5. Клочков В.В., Горшкова И.В., Молчанова Е.В. Авиатранспорт в малонаселенных регионах: оценка затрат и эффективности инновационных технологий // Региональная экономика: теория и практика. 2014. № 30. С. 58-68.
6. Полешкина И.О. Роль малой авиации в обеспечении транспортной доступности арктических регионов: проблемы и перспективы развития // Научный вестник МГТУ ГА. 2022. Т. 25, №. 2. С. 54-69.
7. Rzevski G., Skobelev P., Zhilyaev A. Emergent Intelligence in Smart Ecosystems: Conflicts Resolution by Reaching Consensus in Resource Management // Mathematics, 2022. Vol. 10, No. 11. P. 1923. URL: <https://doi.org/10.3390/math10111923> (дата обращения: 16.01.2024).
8. Galuzin V., Galitskaya A., Grachev S., Laruchkin V., Novichkov D., Skobelev P., Zhilyaev A. The Autonomous Digital Twin of Enterprise: Method and Toolset for Knowledge-Based Multi-Agent Adaptive Management of Tasks and Resources in Real Time // Mathematics. 2022. Vol. 10, No. 10. P. 1662. URL: <https://doi.org/10.3390/math10101662> (дата обращения: 16.01.2024).