

Секция «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление»

**Многоступенчатая стратегия численной оптимизации траектории нескольких самолетов, приближающихся к аэропорту**

**Научный руководитель – Костина Екатерина Аркадьевна**

*Семенов Валерий Васильевич*

*Сотрудник*

Южный федеральный университет, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности, Кафедра синергетики и процессов управления, Ростов-на-Дону, Россия

*E-mail: Valeriy.V.Semenov@gmail.com*

Вследствие быстрого роста плотности авиасообщения в крупных аэропортах, все острее встает вопрос о необходимости нахождения более эффективных методов управления трафиком воздушных судов, способных увеличить пропускную способность аэропортов с одновременным обеспечением безопасности авиаманевров.

Ряд исследований в последнее время подходит к этой задаче с позиций оптимального управления. В работе [1] динамические модели нескольких самолетов собираются в одну большую модель с попарными ограничениями на расстояние между воздушными судами и на время между их заходом на взлетно-посадочную полосу (ВПП). Оптимальные траектории затем находятся средствами численной оптимизации. Главной проблемой такого подхода является длительное время, требуемое для решения задачи настолько большой размерности. В статье [2] авторы отчитались, что решение задачи для 5 самолетов заняло почти 17 минут на мощном настольном компьютере.

В работе [3] было предложено подойти к решению иерархически, вначале найдя оптимальный порядок захода самолетов на ВПП и затем вычислив оптимальную траекторию для каждого из них в формулировке граничной задачи оптимального управления с фиксированным временем. Однако, в данной работе были приведены результаты эксперимента на простой модели из 3-х самолетов, между траекториями которых не возникает конфликта.

В представленной работе проводится более детальный анализ иерархического подхода и указывается, что такой метод приводит к сужению области допустимых решений и нахождению худшего локального минимума, чем в решении для совокупной динамической модели нескольких самолетов. Далее предлагается дополнить иерархический подход еще одним шагом, собрав совокупную модель из нескольких самолетов и использовав решение иерархической формулировки как начальную догадку для совокупной модели. Решение иерархической формулировки оказывается достаточно близко к локальному минимуму совокупной модели, что значительно ускоряет сходимость итерационных методов численной оптимизации.

Для решения задачи использовались методы, предоставляемые пакетом численной оптимизации MUSCOD-II [4]. Задача решается с использованием алгоритма множественной стрельбы для дискретизации состояний и параметризации управлений системы. Полученные краевые задачи решаются методами Рунге-Кутты, а полностью дискретизированная конечномерная задача нелинейного программирования решается методом последовательного квадратичного программирования. Использование методов MUSCOD-II в совокупности с дополненным многоступенчатым подходом дало значительный прирост к скорости вычислений, в результате чего расчеты для задачи с 5-тью самолетами заняли менее чем три минуты.

### Источники и литература

- 1) M. Bittner, "Utilization of Problem and Dynamic Characteristics for Solving Large Scale Optimal Control Problems", doctoral dissertation, Munich, 2017.
- 2) B. Grüter et. al., "Bi-level Homotopic Aircraft Sequencing Using Gradient-Based Arrival Time Assignment and Direct Optimal Control", IACAS, 2017.
- 3) A. Dreves et. al., "Free flight trajectory optimization and generalized Nash equilibria in conflicting situations", preprint, 2017.
- 4) C. Hoffmann et. al., «MUSCOD-II Users' Manual», Interdisciplinary Center for Scientific Computing (IWR), University of Heidelberg, Germany, 2014.