

**Двадцать вторая международная конференция  
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»**

**Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского**

**Оптимизация съемки распределенных участков земной  
поверхности с использованием методов комбинаторики**



**доктор технических наук Григорьев Андрей Николаевич  
кандидат технических наук Коршунов Денис Сергеевич  
Строгонов Артем Артурович**

В силу разнообразия задач по изучению земной поверхности с использованием космических и авиационных съемочных систем возможны различные условия их применения, один из вариантов которых состоит в получении изображений нескольких участков земной поверхности, компактно распределенных в локальном районе. Подобная ситуация имеет место при мониторинге распределенных природно-техногенных комплексов, оценивании последствий стихийных бедствий на территориях населенных пунктов. В таком случае критическое значение имеет своевременность получения объективной информации при ограниченном съемочном ресурсе.

Подходы к планированию съемки на основе точных и эвристических методов комбинаторики приобретают особую актуальность в условиях, когда район съемки является крупномасштабным с множеством распределенных по его площади малоразмерных съемочных участков, покрытие которых затруднено из-за недостатка временного технического ресурса или его ограниченности. При этом формирование программы полета для воздушного судна или программы перенацеливания космического аппарата для последовательной съемки нескольких участков на местности сопровождается решением задачи по построению маршрута, обеспечивающего рациональность применения используемой техники.

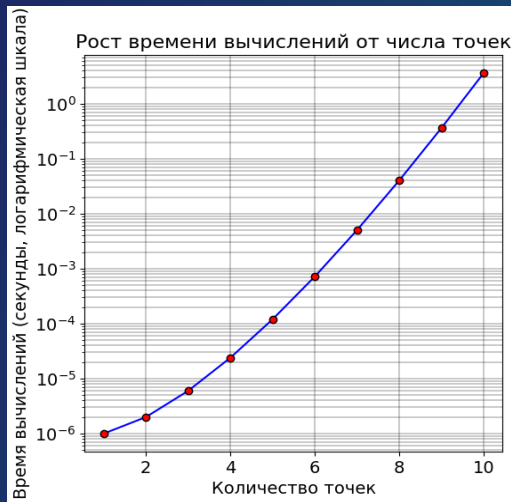
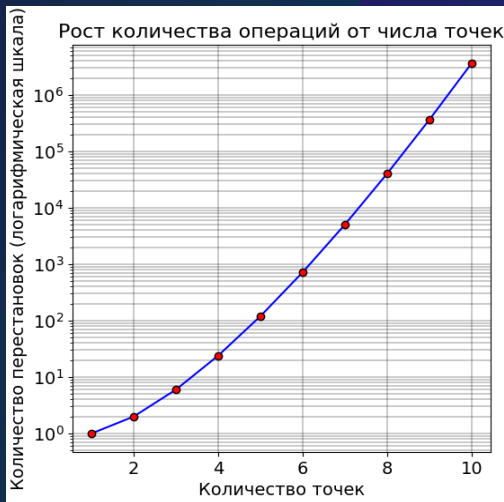
Возможным путем для формирования съемочного маршрута является решение «задачи коммивояжера», широко применяемой в сферах логистики, маршрутизации транспорта, планирования производств, анализа данных и др.

Построенный указанным образом съемочный маршрут принимается за оптимальный. В настоящее время практикуются разные по точности эвристические методы (алгоритмические стратегии) решения «задачи коммивояжера», например: «грубой силы», «ветвей и границ», «ближайшего соседа», «муравьиный алгоритм» и др. Указанные методы подразумевают вычисления различной сложности и характеризуются различной ресурсоемкостью, что также сказывается на времени решения задачи. Таким образом, для обоснованного выбора метода решения «задачи коммивояжера» для формирования съемочного маршрута, необходимо учитывать количество участков в пределах района и ограничения, накладываемые на время вычислений.

Цель исследования состоит в сравнении результатов построения съемочных маршрутов на основе точного и эвристических методов комбинаторики, базирующихся на различных подходах к решению «задачи коммивояжера». Полученные результаты могут быть использованы при составлении программы съемки множества участков, расположенных в пределах одного района, в ходе мероприятий планирования.



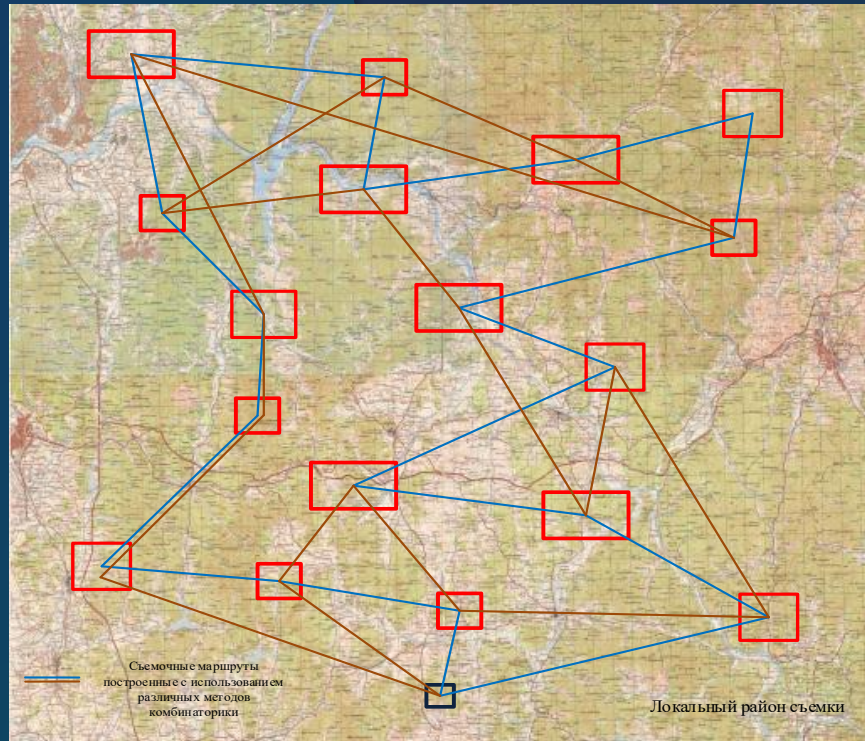
## Повышение сложности процедуры поиска оптимального маршрута методом полного перебора всех возможных вариантов построения съемочного маршрута



При этом метод «грубой силы», обеспечивающий самый простой и точный подход к решению «задачи коммивояжера», в условиях большого количества участков съемки не применим на практике в силу значительных требований к вычислительным ресурсам. Снизить вычислительную сложность процедуры поиска оптимального съемочного маршрута предлагается путем использования альтернативного подхода к решению «задачи коммивояжера».

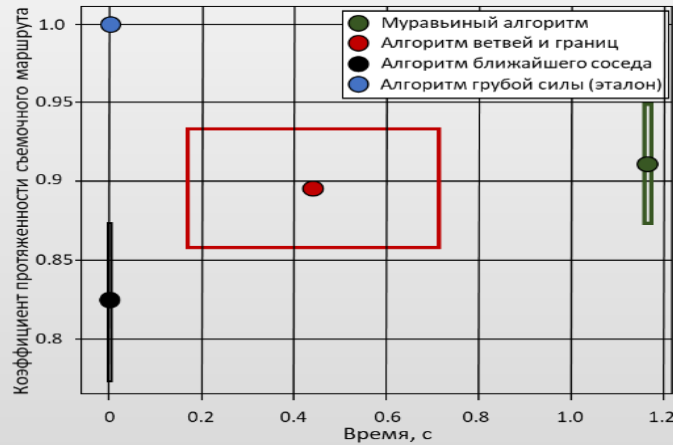
Для выбора средства оптимального решения «задачи коммивояжера» с целью составления съемочного маршрута в условиях временных и ресурсных ограничений проведено исследование, в рамках которого тестировались и сравнивались между собой различные методы комбинаторики. В качестве точного (эталонного) метода принят метод «грубой силы», подразумевающий поиск кратчайшего пути путем полного перебора всех возможных вариантов съемочного маршрута.

# Схема проведенных экспериментов по исследованию выбранных методов комбинаторики

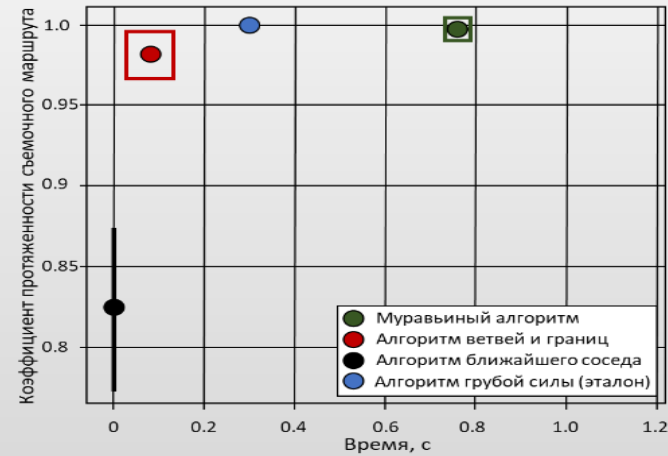


Пример построения съемочных маршрутов распределенных участков земной поверхности с использованием различных методов комбинаторики

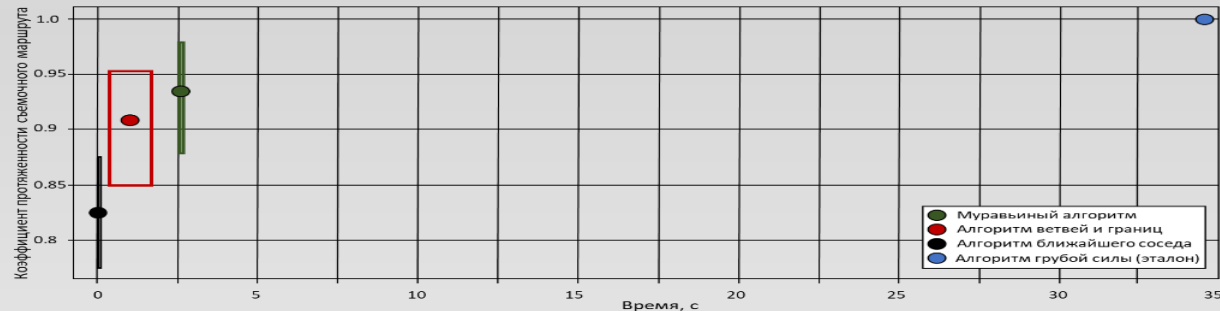
# Результаты сравнения точных и эвристических методов комбинаторики в зависимости от количества съёмочных участков



Шесть участков



Восемь участков



Десять участков

Таким образом, в результате комплексного оценивания выбранных методов комбинаторики наиболее точным и быстрым из исследуемых решений «задачи коммивояжера» стало использование «муравьиного алгоритма». Вследствие этого, в условиях эволюции района съемки, роста количества участков съемки и ужесточения временных ограничений к планированию применения воздушных судов указанный метод комбинаторики является приоритетным для вычисления на его основе оптимальных съемочных маршрутов.

Полученные результаты могут использоваться для обоснованного выбора метода комбинаторики, наилучшим образом подходящего для оптимизации съемочного маршрута. Результаты исследования целесообразно использовать в интересах разработки средств планирования съемки земной поверхности в условиях роста количества малоразмерных участков в пределах съемочного района и при наличии временных ограничений.

1. Григорьев А.Н., Строгонов А.А., Кудинов К.С. Концепция высокодетальной съемки земной поверхности в условиях локальных оптических помех // Материалы Двадцать первой международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М: Изд-во ИКИ РАН, 2023. С. 121.
2. Thibbotuwawa A., Bocewicz G., Nielsen P., Banaszak Z. Unmanned aerial vehicle routing problems: A literature review // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. – № 13. – P. 24. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/342532662> Unmanned Aerial Vehicle Routing Problems A Literature\_Review.
3. Guerrero J., Bestaoui Y. UAV path planning for structure inspection in windy environments // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2012. – Vol. 69. – № 1-4. – P. 297-311. – DOI: 10.1007/s10846-012-9778-2.DOI: 10.31799/2077-5687-2023-3-136-142.