

Численное моделирование парения малоразмерных БПЛА коптерного типа в турбулентной атмосфере*

А.П. Шелехов¹, В.А. Корольков¹, А.Я. Богушевич¹

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

Представлены результаты численного моделирования парения квадрокоптера в турбулентной атмосфере Драйдена с использованием динамической модели беспилотного летательного аппарата. Исследовано поведение временных рядов турбулентных флуктуаций скорости ветра для квадрокоптера и эталонного измерителя, изучена методическая ошибка, которая характеризует расхождение между временными рядами, а также представлен анализ спектров и кросс-спектров турбулентности для квадрокоптера и эталонного измерителя.

Ключевые слова: квадрокоптер, атмосферная турбулентность, динамическая модель, модель идеального парения, методическая ошибка, спектр, кросс-спектр.

Введение

Исследование пространственной структуры турбулентности в атмосферном пограничном слое (АПС) и ее временной изменчивости имеет большое фундаментальное и прикладное значение [1]. В последнее время ряд технических достижений поставил перед фундаментальной наукой в области исследования АПС новые проблемы, требующие скорейшего решения. Одно из таких достижений связано с навигацией беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в атмосфере. Прежде всего, для навигации БПЛА требуется проведение исследований в области разработки новых принципов и методов, позволяющих осуществлять мониторинг турбулентных вихрей с высоким пространственным разрешением и с высокой точностью [2–4].

В сравнении с пилотируемой авиацией БПЛА имеют значительно малый вес и форму. Кроме особенностей, связанных с массо-габаритами, траектория полета дрона происходит на малых высотах по сравнению с самолетами и вертолетами, где интенсивность турбулентности высока. На малых высотах подстилающая поверхность оказывает дополнительное воздействие на состояние поля скорости ветра, которое проявляется в усилении интенсивности турбулентности. Таким образом, турбулентная атмосфера в значительной степени усложняет движение БПЛА, а наличие зданий, сложной орографии в городе дополнительно ухудшают его навигацию в среде с беспорядочными пульсациями скорости ветра.

Анализ динамики воздушных судов в турбулентной среде показал, что в отличие от пилотируемой авиации, на безопасность полетов которой влияют крупные высокоэнергичные вихри размером 100 м и более, в случае БПЛА на полет дрона могут оказывать влияние низкоэнергетические вихри размером от 10 см и более. Содары [5, 6], а также радары и лидары имеют невысокое пространственное разрешение, поэтому они позволяют нам эффективно контролировать атмосферную турбулентность для случая полета больших и тяжелых дронов, чьи размеры сопоставимы с эффективным рассеивающим объемом.

Для мониторинга состояния АПС в целях прогноза полета малоразмерных БПЛА требуется использование методов, основанных на новых физических принципах. К ним относят косвенные методы мониторинга состояния атмосферной турбулентности на основе малоразмерных БПЛА коптерного типа [2, 7–13]. Данные методы позволяют осуществлять мониторинг атмосферной турбулентности с высоким пространственным разрешением не только при решении задач авиационной микрометеорологии БПЛА, но и при решении других научных и прикладных задач, для которых знание состояния турбулентности имеет решающее значение. Это – микрофизика турбулентной атмосферы [1], численный прогноз состояния АПС с адаптивной сеткой с минимальным размером порядка 1 м [3], создание различных технологий, связанных с освоением Арктики [14] или с исследованием атмосферы других планет [15], и др.

Суть косвенных методов диагностики заключается в том, что в интересующую область пространства запускают БПЛА коптерного типа и при достижении требуемой точки пространства с

* Работа выполнена в рамках госзадания ИМКЭС СО РАН.