

ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ



**ДВАДЦАТЬ ВОСЬМАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ,
БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И НА ТРАНСПОРТЕ**

**7-12 СЕНТЯБРЯ 2020
НОВОРОССИЙСК**

**Академия инженерных наук России им. А.М. Прохорова
Оптическое общество России им. Д.С. Рождественского
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Балтийский государственный технический университет
Кубанский государственный технологический университет
Новороссийский политехнический институт
Белгородский государственный технологический университет
имени В.Г. Шухова - Новороссийский филиал
Научно-исследовательский центр «Репер»
Фонд содействия развитию малых форм предприятий
в научно-технической сфере**

**ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ,
БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И НА ТРАНСПОРТЕ – 2020**

Труды XXVIII Международной Конференции
г. Новороссийск, Краснодарский край
7 – 12 сентября 2020 г.

Под редакцией профессора В.Е. Привалова

Организация и проведение конференции поддержаны Новороссийскими
предприятиями – ООО «НПФ «АВТЭК» и ЗАО «НЦЗ «Горный»
Информационная поддержка журналов
«Безопасность в Техносфере» и «Фотоника»

Краснодар
2020

УДК 62+66
ББК 30
Л 175

Редакционная коллегия:

Очкин В.Н. – д-р физ.-мат. наук, проф., действительный член
Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова
Привалов В.Е. – д-р физ.-мат. наук, проф., действительный член
Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова
Фотиади А.Э. – д-р физ.-мат. наук, проф., действительный член
Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова
Шеманин В.Г. – д-р физ.-мат. наук, проф.
Дьяченко В.В. – д-р геогр. наук, проф.

Л 175 Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте: труды XXVIII Международной Конференции (7 – 12 сентября 2020 г.) / ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2020. – 296 с.
ISBN 978-5-8333-0876-9

В сборник включены материалы докладов, представленные на XXVIII Международной Конференции «ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ, БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И НА ТРАНСПОРТЕ – 2020». Сборник рассчитан на научных сотрудников, инженеров, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

Организация и проведение конференции поддержаны Новороссийскими предприятиями – ООО «НПФ «АВТЭК» и ЗАО «НЦЗ «Горный»
Информационная поддержка журналов – «Безопасность в Техносфере» и «Фотоника»

ISBN 978-5-8333-0876-9

© ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2020

Возможности квадрокоптеров малых размеров для низковысотного зондирования турбулентных вихревых образований

*А.П. Шелехов, А.Л. Афанасьев, А.А. Кобзев, А.Е. Тельминов,
А.Н. Молчунов, Е.А. Шелехова, О.Н. Поплевина*

(Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, ash@imces.ru)

Экспериментально показано, что турбулентные частотные спектры продольной и поперечной компонент флуктуаций скорости ветра совпадают с их оценками, полученными с помощью квадрокоптера *DJI Mavic Mini* в режиме парения.

Ключевые слова: турбулентность, спектр, квадрокоптер, низковысотное зондирование

It is experimentally shown that the turbulent frequency spectra of the longitudinal and transverse components of wind speed fluctuations coincide with their estimates obtained using a *DJI Mavic Mini* quadcopter in hover mode.

Keywords: turbulence, spectrum, quadcopter, low-altitude sensing

Турбулентный атмосферный пограничный слой - это ближайшая к поверхности Земли область атмосферы. Поведение этого слоя влияет на критически важные процессы, связанные с вихревыми образованиями, сопутствующие движению беспилотного транспортного средства при транспортировке груза в «умном городе». В настоящее время мониторинг опасных турбулентных вихревых образований является одной из актуальных проблем безопасности в техносфере «умного города».

Основными традиционными средствами, которые используют для диагностики турбулентных вихревых образований, являются привязные аэростаты и метеорологические мачты с измерительными приборами. В последнее время в научных исследованиях и на практике стали применяться приборы, основанные на активных методах, используя сигнал обратного рассеяния радио-, звукового и лазерного излучения (радары, содары и лидары). Так, например, в работе [1] приводятся технические и метрологические характеристики двух отечественных серийных когерентных доплеровских лидаров, предназначенных для непрерывного круглосуточного мониторинга атмосферной турбулентности на малых и средних высотах.

К основным недостаткам перечисленных выше методов относят высокую стоимость, а также большую массу и габариты. Также существенным недостатком является то, что радары, содары и лидары не являются приборами *in situ*; они позволяют измерять состояние турбулентных вихревых образований, усредненное по достаточно большому рассеивающему объему.

Эти ограничения существующих методов зондирования привели к необходимости поиска новых технологий, исключая перечисленные выше недостатки. К одним из таких технологий относят использование квадрокоптера, как с сенсором, так и без сенсора на летательном аппарате для изучения атмосферы на низких высотах [2, 3]. Основными достоинствами этих технологий являются:

возможность квадрокоптера зависать в заданной точке пространства в течении продолжительного времени; малый вес и габариты; низкая стоимость.

Главной характеристикой турбулентности является спектр корреляционного тензора флуктуаций поля скорости ветра. В работе [3] для квадрокоптера *DJI Phantom 4 Pro* исследованы турбулентные спектры флуктуаций углов Эйлера и проведено их сравнение со спектром корреляционного тензора флуктуаций поля скорости ветра. Показано, что спектры флуктуаций углов Эйлера и корреляционного тензора совпадают за исключением высокочастотной области. Частотный спектр случайных флуктуаций углов Эйлера в высокочастотной области затухает с ростом частоты сильнее, чем спектр корреляционного тензора. Более быстрое затухание спектра случайных флуктуаций углов Эйлера объясняется большими размерами и весом квадрокоптера *DJI Phantom 4 Pro*, поэтому в настоящей работе использовался квадрокоптер *DJI Mavic Mini*, который является более легким и малого размера.

Основываясь на динамических уравнениях для центра тяжести квадрокоптера, в работе [3] получены уравнения на оценки компонент скорости ветра для идеального парения при ориентации БПЛА в произвольном направлении. Для линейной зависимости силы сопротивления от скорости горизонтального ветра данные уравнения имеют вид

$$\hat{w}_x \sim \alpha_x = -(\varphi \sin \psi + \theta \cos \psi), \quad (1)$$

$$\hat{w}_y \sim \alpha_y = -(-\varphi \cos \psi + \theta \sin \psi) \quad (2)$$

где \hat{w}_x , \hat{w}_y – оценки компонент горизонтальной скорости ветра, φ – угол крена, θ – угол тангажа, ψ – угол рысканья. В турбулентной атмосфере углы Эйлера являются суммой регулярной и флуктуационной частей. Следовательно, оценки компонент горизонтальной скорости ветра можно представить в виде суммы регулярной и флуктуационной частей $\hat{w}_x \sim \langle \alpha_x \rangle + \alpha'_x$ и $\hat{w}_y \sim \langle \alpha_y \rangle + \alpha'_y$.

В случае преобладания горизонтального переноса воздушных масс над вертикальным движением, продольная компонента и поперечная компонента, лежащая в плоскости горизонта, имеют вид

$$w'_r(\mathbf{r}, t) = n_x w'_x(\mathbf{r}, t) + n_y w'_y(\mathbf{r}, t), \quad (3)$$

$$w'_t(\mathbf{r}, t) = -n_y w'_x(\mathbf{r}, t) + n_x w'_y(\mathbf{r}, t), \quad (4)$$

где $w'_x(\mathbf{r}, t)$ и $w'_y(\mathbf{r}, t)$ – компоненты флуктуаций скорости горизонтального ветра по осям X и Y, $\mathbf{n} = \{n_x, n_y, 0\}$ – направление горизонтального ветра.

Для изотропных флуктуаций поля скорости турбулентного потока в инерционном интервале волновых чисел выполняется закон «пяти третей» Колмогорова-Обухова [4], который для спектральной плотности средней кинетической энергии единицы массы воздуха имеет вид $E(k) \sim \varepsilon \cdot k^{-5/3}$, где ε – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Основываясь на гипотезе Тейлора о «замороженности» турбулентных флуктуаций в работе [4] получена формула, связывающая частотный спектр случайного поля с его пространственным спектром. Используя эту связь можно получить выражение для частотного спектра в случае

закона «пяти третей» Колмогорова-Обухова [4], которое имеет вид $F(f) \sim f^{-5/3}$. Видно, в случае закона «пяти третей» Колмогорова-Обухова частотный спектр случайного поля скорости ветра затухает с ростом частоты пропорционально степени $-5/3$.

По аналогии с теорией турбулентности можно ввести понятия продольной и поперечной компоненты для оценок горизонтального ветра

$$\alpha'_r = \hat{n}_x \alpha'_x + \hat{n}_y \alpha'_y, \quad (5)$$

$$\alpha'_{t_\perp} = -\hat{n}_x \alpha'_y + \hat{n}_y \alpha'_x, \quad (6)$$

где $\hat{\mathbf{n}} = \{\hat{n}_x, \hat{n}_y, 0\}$ - оценка направления горизонтального ветра. Также по аналогии с теорией турбулентности можно ввести понятия оценки спектральной плотности средней кинетической энергии единицы массы воздуха и частотного спектра.

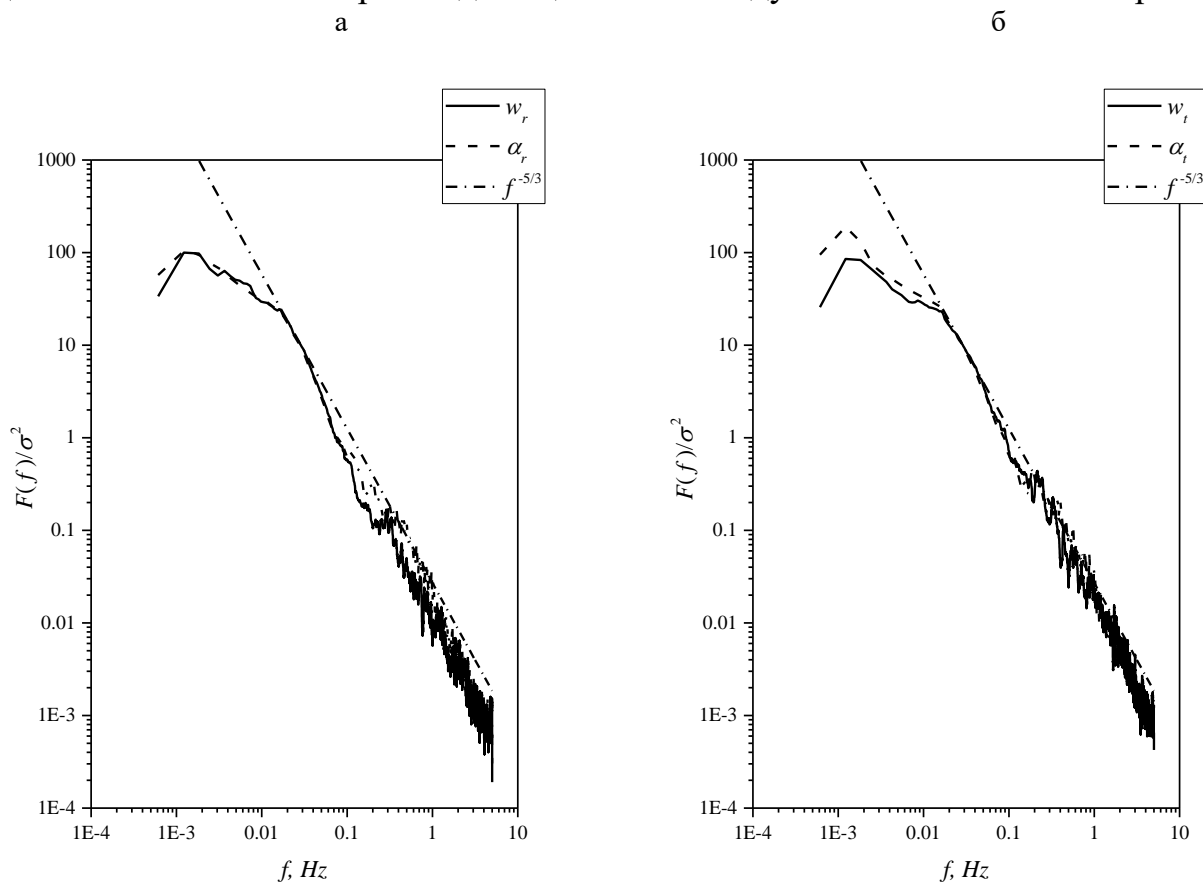


Рис.1. Турбулентные частотные спектры продольной (а) и поперечной (б) компонент флуктуаций скорости ветра (сплошная кривая) и их оценка, полученная с помощью квадрокоптера *DJI Mavic Mini* в режиме парения (пунктир).

Таким образом, формулы (5) и (6) позволяют нам рассчитать оценки частотных спектров продольной и поперечной компонент флуктуаций скорости ветра по данным телеметрии углов Эйлера. Контроль состояния атмосферной

турбулентности с использованием уравнений (3) и (4) дает возможность сравнить оценку частотного спектра с его реальным значением.

Экспериментальные исследования проводились на базе Базового экспериментального комплекса ИОА им. В.Е. Зуева СО РАН 24 июля 2020, время начала исследований 05:01 UTC, а время их окончания 05:24 UTC. Точка старта квадрокоптера *DJI Mavic Mini* находилась в непосредственной близости от тридцатиметровой метеомачты. После взлета БПЛА поднялся на высоту 10 м и подлетел к автоматизированному метеорологическому комплексу АМК-03, расположенному на мачте. Квадрокоптер находился в режиме удержания высоты вблизи АМК-03 более 20 минут, после чего вернулся на точку старта. Данные о ветре фиксировались АМК-03 с частотой 80 Гц, а регистрация данных состояния квадрокоптера осуществлялась с частотой 10 Гц.

На рисунке 1 показаны результаты сравнения частотных спектров продольной и поперечной компонент с их оценкой, полученного с помощью квадрокоптера *DJI Mavic Mini* в режиме парения. Пунктир и точка на рисунке 1 демонстрирует частотный спектр, который соответствует закону «пяти третей» Колмогорова-Обухова, а σ^2 - коэффициент нормировки. Из рисунка 1 видно, что спектры в целом совпадают, и не наблюдаются существенные различия в высокочастотной области спектра.

Таким образом, полученные результаты являются научной основой для создания методов низковысотного дистанционного зондирования спектров атмосферной турбулентности с использованием квадрокоптеров малых размеров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-06066 мк.

Список литературы:

1 Андреев М., Васильев Д., Пенкин М., Смоленцев С., Борейшо А., Ключков Д., Коняев М., Орлов А., Чугреев А. Когерентные доплеровские лидары для мониторинга ветровой обстановки // Фотоника. 2014. Вып. 6. С. 20-29.

2 Palomaki, R. T., Rose, N. T., van den Bossche, M., Sherman, T. J., and De Wekker, S. F. J. Wind estimation in the lower atmosphere using multirotor aircraft // J. Atmos. Ocean. Technol. 2017. V. 34, pp.1183–1190.

3 Shelekhov A.P., Afanasiev A.L., Kobzev A.A., Chupina O.S., Tel'minov A.E., Shelekhova E.A. Spectra of turbulent fluctuations of Euler angles of unmanned aerial vehicles in the altitude holding mode. // Proc. SPIE International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics (AOO20). 2020. In print.

4 Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. – М: Наука, 1967. – Ч. 2. – 720 с.

Обеспечение экологической безопасности в регионе

¹А.Д. Хованский, ²В.В. Дьяченко

(¹ Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону,

²Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета, Новороссийск, v-v-d@mail.ru)

Разработана система мер по обеспечению экологической безопасности в регионе включающая: выявление и оценку источников экологической опасности, мероприятия по охране окружающей среды в процессе повседневной хозяйственной деятельности, мероприятия по обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов, мероприятия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Для повышения эффективности и координации деятельности органов власти и предприятий по обеспечению экологической безопасности в регионе должны быть разработаны нормативные документы, определяющие полномочия и ответственность, а также порядок взаимодействия всех участников этого процесса.

Ключевые слова: экологическая безопасность, техносфера, нормирование, взаимодействие, риск, опасные производственные объекты, мониторинг

A system of measures to ensure environmental safety in the region has been developed, which includes: identification and assessment of environmental hazards, measures to protect the environment in the course of daily economic activities, measures to ensure industrial safety of hazardous production facilities, measures to prevent and eliminate natural and man-made emergencies. In order to improve the efficiency and coordination of the activities of authorities and enterprises to ensure environmental safety in the region, regulatory documents should be developed that determine powers and responsibilities, as well as the procedure for interaction of all participants in this process.

Keywords: environmental safety, technosphere, rationing, interaction, risk, hazardous production facilities, monitoring

На экологическую безопасность в регионе значительное влияние оказывает природные условия, сложившаяся экологическая ситуация, промышленные предприятия и опасные производственные объекты, сельское хозяйство, транспорт и другие факторы. Поэтому при разработке мероприятий по обеспечению экологической безопасности необходимо производить экологическую оценку хозяйственной деятельности региона и учитывать его природные условия, степень опасности существующей экологической ситуации, наличие и характер действующих и потенциальных источников техносферной опасности [1].

В регионе на основании государственной экологической политики и стратегии экологической безопасности Российской Федерации [2, 3] с учетом его природных и социально-экономических особенностей должны быть сформированы основные направления и комплекс мероприятий по обеспечению экологической безопасности.