

К решению проблемы замыкания для турбулентного конвективного атмосферного пограничного слоя

Гряник В.М.^{1,2}, Хартманн Й.²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, Бремерхафен, Германия
vladimir.gryanik@awi.de

Ключевые слова: теории турбулентности

Модели замыкания играют центральную роль в теории турбулентности и её приложениях. Они широко используются в моделях климата, общей циркуляции, пограничного и приземного слоев

атмосферы и океана. Наиболее популярны, из-за своей простоты, одно-точечные и двух-точечные (спектральные) замыкания. Одна из первых моделей была предложена Обуховым в его знаменитой сейчас работе, где впервые был получен закон пяти третей для спектра однородной и изотропной турбулентности. Турбулентность в атмосфере и океане может рассматриваться как однородная и изотропная только на малых масштабах в так называемом инерционном интервале. В докладе проблема замыкания рассматривается для сухого конвективного пограничного слоя накрытого инверсией. Турбулентное перемешивание в слое связано с вихрями малых масштабов вблизи поверхности и в зоне вовлечения, а также с крупномасштабными когерентными структурами - плюмами - пронизывающими всю толщу погранслоя. Традиционные гипотезы замыкания плохо работают в этих условиях:

- 1) потоки тепла, кинетической и потенциальной энергий и моментов старшего порядка не описываются обычными законами диффузии,
- 2) гипотеза Миллионщикова о гауссовости моментов четвертого порядка противоречит данным наблюдений и численного моделирования,
- 3) скорость диссипации энергии и потока тепла (и старших моментов) не описывается гипотезой Ротта-Монина об однородной релаксации.

Главная причина в том, что предположение о слабом отклонении функции распределения флуктуаций скорости и температуры от гауссовой не выполняется.

Чтобы прояснить ситуацию, мы рассматриваем упрощённую модель конвективной турбулентности, приняв гипотезу что не-гауссовость функции распределения может быть описана в так называемом Delta-PDF приближении, которое предполагает аппроксимацию реальной функции распределения суммой Делта-функций. Оно наилучшим образом приспособлено для описания влияния ансамблей когерентных структур. Приближение не ново и использовалось ранее в работах [1].

Главное отличие новой модели состоит во включении в функцию распределения вклада от популяций вихрей малых масштабов, помимо вклада от когерентных структур. Второе отличие в том, что ранее в [1] анализ проводился асимптотическими методами, новая же модель решена точно. Все моменты высших порядков выражены через неприводимые, среди которых содержится только один момент четвертого порядка - коэффициент корреляции компонент скорости и температуры. Получены явные аналитические параметризации для не-диффузионных потоков импульса, тепла, кинетической и потенциальной энергии. В частном случае моментов четвертого порядка новые замыкания обобщают гипотезу Миллионщикова на случай сильно асимметричной турбулентности.

Тестирование замыканий на основе данных самолётных измерений (ARTIST), LES и DNS показало хорошее согласие между теорией и данными. В предельных случаях новые замыкания совпадают с полученными в [1], и уже проверенными в [2-4].

Литература:

1. Gryanik V.M. and J. Hartmann, 2002: J. Atmos. Sci., 59, 2729; Gryanik, V.M., J. Hartmann, S. Raasch and M. Schröter, 2005: J. Atmos. Sci., 62, 2632.
2. Kupka F. and F. Robinson 2007: Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 374, 305, 79.
3. Lenschow, D.H., M. Lothon, S.D. Mayor, P.P. Sullivan and G. Canut, 2011: Boundary-Layer Meteorol. 143, 107.
4. Waggy S., A. Hsieh and S. Biringen, 2016: Geophys. Astrophys. Fluid Dyn. doi: 10.1080/03091929.2016.1196202.

*Международная конференция «ТУРБУЛЕНТНОСТЬ, ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА»,
посвящённая столетию со дня рождения А.М. Обухова, 16–18 мая 2018, г. Москва*

Моделирование спектров атмосферной турбулентности

Жиленко Д.Ю., Кривоносова О.Э.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

jjlenko@imec.msu.ru

Ключевые слова: *спектры атмосферной турбулентности, турбулентность во вращающихся сферических слоях*

Экспериментально и численно установлена зависимость вида турбулентных спектров скорости течения во вращающихся сферических слоях от амплитуды и частоты модуляции скорости вращения одной из сфер. Показана возможность формирования турбулентности, спектры которой качественно подобны спектрам, полученным ранее при натуральных измерениях в верхних слоях атмосферы Земли.