

# О РЕАЛИЗУЕМОСТИ МЕХАНИЗМА ОБУХОВА-БОЛДЖИАНО В КОНВЕКТИВНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

<sup>1</sup>Степанов Р.А., <sup>1</sup>Фрик П.Г., <sup>1</sup>Шестаков А.В.

<sup>1</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН (Пермь)

Основное внимание в работе уделяется изучению возможности реализации сценария Обухова-Болджиано (ОБ) в развитой конвективной турбулентности. На возможность такого сценария указали в своих работах А.М.Обухов [1] и Р.Болджиано [2] ещё в 1959 году, но его однозначного подтверждения до сегодняшнего дня так и не появилось. Данный сценарий основан на существенном влиянии силы Архимеда на статистические свойства турбулентности, что вместо известного закона «-5/3» приводит к степенным законам для энергии пульсации скорости и температуры вида

$$E(k) = C_1 \varepsilon_0^{2/5} (g\beta)^{4/5} k^{-11/5}, E_\theta(k) = C_2 \varepsilon_0^{4/5} (g\beta)^{-2/5} k^{-7/5}. \quad (1)$$

Фрагменты спектров с наклонами, похожими на «-11/5» и «-7/5» отмечены в некоторых лабораторных и в численных экспериментах, однако, однозначно утверждать, что это связано именно с режимом ОБ, а не обусловлено другими факторами нельзя. В работе [3], авторы попытались разобраться с этой давней проблемой с помощью каскадной модели конвективной турбулентности. Однако выводы и результаты этой работы также ставят под сомнение, что был реализован режим ОБ.

В данной работе предпринята попытка проверить существование режима ОБ при помощи каскадной модели конвективной турбулентности, построенной на основе модели спиральной изотермической турбулентности. Уравнения модели, в безразмерном виде имеют компактный вид

$$\begin{aligned} \frac{dU_n}{dt} &= W_n(U, U) - \frac{k_n^2 U_n}{Re} + Ri T_n \\ \frac{dT_n}{dt} &= W_n(U, T) - \frac{k_n^2 T_n}{Re Pr} + G_n U_n, \end{aligned} \quad (2)$$

где,  $U_n$  и  $T_n$  - комплексные переменные, характеризующие пульсации скорости и температуры для области с волновым числом  $k_n = \lambda^n$ , где  $\lambda$  - ширина зоны разбиения волнового пространства,  $n$  - номер оболочки. Свойства данной модели подробно были описаны в работе [4]. Результаты моделирования конвективной турбулентности, проведенные в работе [4], существующей на фоне вертикального градиента температуры, показали, что при обычных условиях, баланс работы силы Архимеда и нелинейного переноса энергии пульсаций скорости по спектру, являющийся необходимым условием существования режима ОБ не выполняется.

В данной работе удалось практически реализовать режим ОБ при введении в первое уравнение системы (2) дополнительной силы вида

$$f_n = -P_n U_n, \quad (3)$$

где  $P_n$  - коэффициент, зависящий от времени и номера яруса, имеющий в стационарном случае степенное распределение  $P_n \sim k_n^{0.35}$ . Сила (3) обеспечивает дополнительный сток энергии из системы. Численные расчеты показали, что при введении силы (3), обеспечивается не только выполнение закона «-11/5» (соответствует «-6/5» на графике) для спектра энергии пульсаций скорости, но и выполняется закон «-7/5» («-2/5» на графике) для энергии пульсаций температуры, что показано на (Рис. 1а). Кроме того, выполняется главное условие реализации режима ОБ – баланс работы силы Архимеда и нелинейного переноса энергии пульсаций скорости,  $A_V / \Pi_V \sim 1$ , на достаточно протяженной части спектра, что показано на (Рис. 1б).

В то же время, реализованное решение искусственно. Аналогов силы (3) не существует в природе, из чего следует вывод, что режим Обухова-Болджиано – чисто математическая ситуация, не имеющая места в реальных конвективных системах, а наблюдаемые в разных работах участки спектров, с законами близкими к (1), обусловлены другими факторами (например, вязкостью), и не имеют отношения к режиму Обухова-Болджиано.

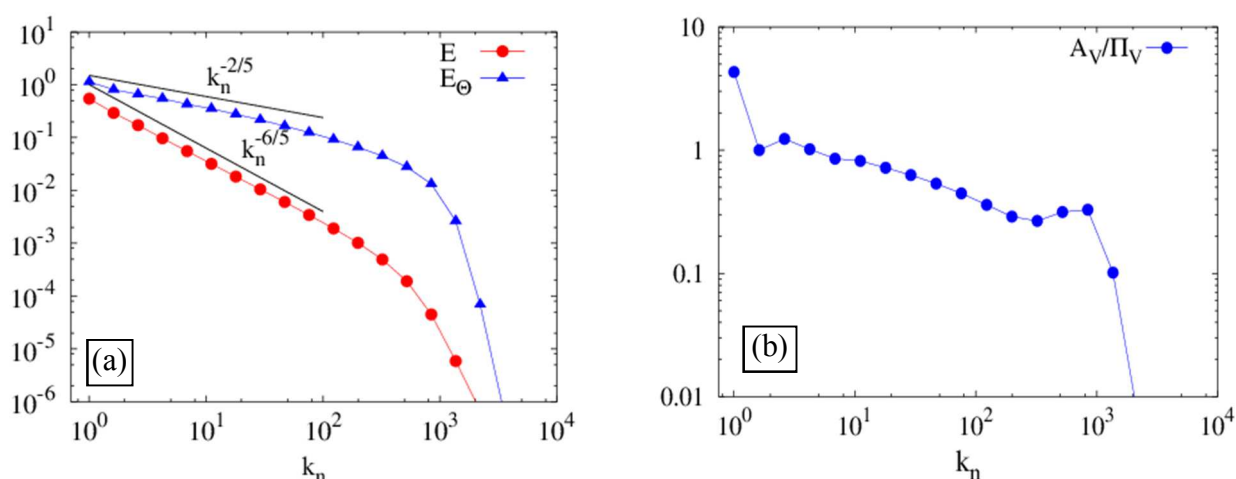


Рис. 1 Спектральное распределение энергии пульсаций скорости и температуры (а) и отношение спектрального распределения работы силы Архимеда  $A_V$  и потока энергии пульсаций скорости  $\Pi_V$  (б).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-01-00459-а)

1. Обухов А.М. О влиянии архимедовых сил на структуру температурного поля в турбулентном потоке // Доклады АН СССР, 1959. – Т. 125. – N. 6. – С. 1246-1248.
2. Bolgiano R. Turbulent spectra in a stably stratified atmosphere // J. Geophys. Res, 1959. – V.46. – N.12. – P.2226-2229.
3. Kumar A., Verma M. K. Shell model for buoyancy-driven turbulence // Physical Review E. 2015. – V.91. 043014.
4. Шестаков А.В., Степанов Р.А., Фрик П.Г. О механизмах каскадного переноса энергии в конвективной // Вычислительная механика сплошных сред, 2016. - Т.6. №.2. – С.125-134.