

К НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕРМИКОВ

Ингель Л.Х.

*ФГБУ «ЦНПО «Тайфун», г. Обнинск, 249038, Россия
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва,
Пыжжевский пер., 3, 119017,
Россия Межведомственный центр аналитических исследований при Президиуме РАН,
Москва, 117997, Россия
e-mail: lev.ingel@gmail.com*

Статья поступила в редакцию 25.12.2018, одобрена к печати 30.01.2019

Изолированные термики – нередко используемая модель турбулентной конвекции от локализованных источников плавучести и (или) импульса, действующих в течение короткого времени. В такой модели область возмущения (термик) приближенно представляется в виде поднимающегося (или опускающегося, в зависимости от знака возмущения) «пузыря» или вихревого кольца переменного объема и массы. Объем термика постепенно растет вследствие захвата им прилегающих объемов окружающей среды («вовлечение» – entrainment). Динамика термика описывается нелинейной системой обыкновенных дифференциальных уравнений – уравнений баланса массы, импульса и плавучести. В настоящей работе нелинейная интегральная модель турбулентных термик обобщена на случай наличия горизонтальных составляющих его движения относительно среды (например, всплывания термика в сдвиговом потоке). По сравнению с традиционными моделями дополнительно допускается возможность наличия в термике объемных источников тепла и количества движения. Задача решена в квадратурах. Одно из возможных приложений – искусственное стимулирование с использованием локальных источников количества движения нисходящих движений в атмосфере с целью воздействия на конвективные облака. Полученное решение зависит от девяти параметров – стратификации, вертикального сдвига фонового течения, интенсивностей упомянутых объемных источников, начальных условий для радиуса термика, его плавучести и трех составляющих скорости его перемещения. Анализируются различные предельные случаи. Обращается внимание на нелинейный эффект взаимодействия горизонтальных и вертикальной составляющих движения термика, поскольку каждая из составляющих влияет на интенсивность вовлечения окружающей среды, т.е. на скорость роста размеров термика и, следовательно, на его подвижность. Интенсификация вовлечения за счет взаимодействия термика с поперечным потоком может приводить к существенному уменьшению его подвижности. От этого, в свою очередь, зависит степень горизонтального переноса термика фоновым сдвиговым течением. Некоторые предельные случаи были ранее проанализированы в цитируемой ниже работе автора.

Работа выполнена при поддержке Программы № 56 фундаментальных исследований Президиума РАН.

Ключевые слова: термик, конвекция, турбулентность, интегральные модели, сдвиговые течения, нелинейная динамика, аналитические решения, активные воздействия на атмосферные процессы

Литература

Ингель Л.Х. К нелинейной динамике турбулентных термиков в сдвиговом потоке // Прикладная механика и техническая физика. 2018. № 2. С. 23–30.

TO THE NONLINEAR DYNAMICS OF TURBULENT THERMALS

Ingel L.Kh.

*Research and Production Association “Typhoon”, Obninsk, 249038, Russia
Obukhov Institute of Atmospheric Physics, RAS, Moscow, 119017, Russia
Interdepartment Center of Analytical Research at the Presidium of RAS, Moscow, 117997,
Russia, e-mail: lev.ingel@gmail.com*

Submitted 25.12.2018, accepted 30.01.2019

Often used model of turbulent convection from localized sources of buoyancy and (or) momentum acting for a short time – isolated thermals. In such a model, the perturbation region (thermal) is approximately represented as a “bubble” or a vortex ring of variable volume and mass that rises (or descends depending on the perturbation sign). The volume of thermals is gradually increasing due to the capture of adjacent volumes of the environment (“entrainment”). The dynamics of a thermal is described by a nonlinear system of ordinary differential equations – the equations of balance of mass, momentum and buoyancy. In the present work, the nonlinear integral model of turbulent thermals is generalized to the case of the presence of horizontal components of its motion relative to the medium (for example, the emergence of a thermal in a shear flow). Compared to traditional models, the possibility of the presence in the thermal of volume heat and momentum sources is additionally taken into account. The problem is solved in quadratures. One of the possible applications is the artificial stimulation by local sources of impulse of downward movements in the atmosphere in order to influence convective clouds. The solution depends on nine parameters – stratification, vertical shear of the background current, intensities of the above-mentioned volume sources, initial conditions for the thermal radius, its buoyancy, and the three components of the thermal velocity. Different limiting cases are analyzed. Attention is paid to the nonlinear effect of the interaction of the horizontal and vertical components of the thermal motion, since each of the components affects the intensity of entrainment, i.e. on the growth rate of thermal dimensions and, consequently, on its mobility. Intensification of entrainment due to the interaction of a thermal with a transverse flow can lead to a significant decrease in its mobility. From this, in turn, depends on the degree of horizontal transfer of a thermal by a background current. Some limiting cases were previously analyzed in the author’s cited below.

This study was supported by Program 56 of the Fundamental Research of the Presidium of the Russian Academy of Sciences.

Keywords: thermal, convection, turbulence, integral models, shear flows, nonlinear dynamics, analytical solutions, modification of atmospheric processes

References

Ingel L.Kh. Nonlinear dynamics of turbulent thermals in shear flow. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2018, Vol. 59, No. 2, pp. 206–211.