

**ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ СУТОЧНОГО ХОДА
АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В МОДЕЛЯХ
ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И КЛИМАТА**

*Ткаченко Екатерина Викторовна¹
Дебольский Андрей Владимирович²
Мортиков Евгений Валерьевич³*

1: *Студент, факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

2: *Специалист, НИВЦ МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

3: *Научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук, НИВЦ МГУ имени*

М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: evtkachenko@hotmail.com

В данном исследовании была рассмотрена возможность использования стандартной модели k - ε для воспроизведения динамики атмосферного пограничного слоя (АПС), в частности для переходных периодов суточного цикла, определяемых следующим образом: утренний — к конвективному пограничному слою за счёт нагревания поверхности; вечерний — к устойчивому пограничному слою [1].

Для воспроизведения АПС в моделях прогноза погоды используются турбулентные замыкания 1-го и 2-го порядка [2]. С их помощью модели позволяют с достаточной точностью описать основные характеристики стационарных или квазистационарных пограничных слоев при стратификации близкой к нейтральной, однако для воспроизведения течений при сильной стратификации и нестационарной турбулентной динамике необходимо уточнение замыканий. Это связано, в частности, с тем, что существующие замыкания некорректно описывают приземную температуру — поток тепла завывает ночью и занижается днём [3]. Утренний и вечерний переходные периоды являются такими нестационарными процессами.

В данной работе рассматривается стандартная модель k - ε , включающая в себя уравнения для турбулентной кинетической энергии (ТКЭ) и скорости её диссипации, а коэффициенты турбулентной вязкости и диффузии определяются соотношениями подобия [4].

Для моделирования суточного хода были использована постановка эксперимента GEWEX Atmospheric Boundary Layer Study (GABLS-2) [3]. Для определения переходных периодов использовались формулировки из эксперимента-проекта Boundary Layer Late Afternoon and Sunset Turbulence (BLLAST) [1]. Для утреннего: начинается с ростом температуры поверхности и заканчивается, когда

поток тепла переходит из отрицательного в положительный. Для вечернего: начинается, когда поток тепла переходит из положительного в отрицательный и заканчивается при достижении стационарного состояния по высоте пограничного слоя [1].

Было исследовано влияние параметризации турбулентного числа Прандтля Pr_t (описывает соотношение турбулентного обмена импульса к обмену теплом) и феноменологического уравнения для скорости диссипации. Была проверена чувствительность к параметру плавучести $k-\varepsilon$ (влияет на изменение скорости диссипации за счёт сил плавучести) и турбулентному числу Шмидта σ_ε . Известно [4,5], что описание диффузионных процессов и, соответственно, величина коэффициента диффузии K_m/σ_ε в уравнении для скорости диссипации может влиять на воспроизведение нестационарной динамики.

В ходе численных экспериментов также была рассмотрена возможность существования степенной зависимости вида $E_k/E_{k_0} \sim ((t - t_0)/l)^p$ (p — некоторая степень, l — длительность переходного периода) для изменения ТКЭ по времени.

Результаты экспериментов продемонстрировали слабую чувствительность модели к $C_{3\varepsilon}$ и значительную — к σ_ε . Такой результат показывает необходимость уточнения уравнения для скорости диссипации, в частности в отношении коэффициента диффузии. К числу Прандтля Pr_t была отмечена слабая чувствительность для утреннего переходного периода и заметная — для вечернего.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента России МК-1867.2020.5

Литература

1. Carreras E. B. Transitional periods of the atmospheric boundary layer. Catalonia, Spain :Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.
2. Stull R. B. An Introduction To Boundary Layer Meteorology. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999.
3. Svensson G. et al. Evaluation of the Diurnal Cycle in the Atmospheric Boundary Layer Over Land as Represented by a Variety of Single-Column Models: The Second GABLS Experiment // Boundary-Layer Meteorology, 2011, 140:177–206.
4. Мортиков Е. В., Глазунов А. В., Дебольский А. В., Лыкосов В. Н., Зилитинкевич С. С. О моделировании скорости диссипации кинетической энергии турбулентности // ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК, 2019, том 489, № 4, с. 414–418.
5. Burchard H. Applied Turbulence Modelling in Marine Waters. Berlin, Germany: Springer, 2002.