

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ НА ВЛАГОПЕРЕНОС В АТМОСФЕРЕ

Ульшин И.И.<sup>1</sup>, Семенов М.Е.<sup>1</sup>, Ножкин В.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия,  
nozhkin-v@list.ru

**Аннотация.** Предложен новый подход к учету турбулентных свойств атмосферы при использовании гидродинамического моделирования.

Ключевые слова: гидродинамическое моделирование, турбулентные свойства атмосферы, стохастические методы.

Гидродинамическое моделирование является основным методом прогнозирования полей метеорологических величин [1-3]. В настоящее время нерешенной остается проблема учета в рамках моделей неупорядоченных хаотических возмущений, связанных с неоднородностями в поле ветра [3]. В связи с этим целью настоящей работы является описание локальной гидродинамической модели переноса влаги, учитывающей неоднородности движения воздушных масс в рамках теории случайных процессов. Актуальность исследования обусловлена тем, что большинство опасных явлений погоды связана с повышенным влагосодержанием в атмосфере.

Представленная модель переноса влаги без стоков и источников является одномерной

$$\frac{\partial s}{\partial t} = -\varepsilon(t) \frac{\partial s}{\partial x}, \quad (1)$$

с детерминированным начальным условием:

$$s(t_0, x) = s_0(x), \quad (2)$$

где  $s$  – массовая доля водяного пара;  $\varepsilon(t)$  – проекция вектора скорости по направлению преимущественного переноса воздушной частицы, рассматриваемая как случайный процесс.

В данной модели компоненты вектора скорости, соответствующей преимущественному направлению переноса, трактуются как случайные процессы с известным характеристическим функционалом.

Используя стандартную технику, уравнение со стохастическими коэффициентами (1) с начальным условием (2) сводится к детерминированному уравнению с вариационной производной относительно математического ожидания решения соответствующего уравнения, в виде (3):

$$M(s(t, x)) = s_0(x) \overset{x}{*} \frac{1}{\sqrt{\pi \int_0^t \int_0^t b(\tau_1, \tau_2) d\tau_1 d\tau_2}} \exp \left( - \frac{(x - \int_0^t M(\varepsilon(\tau)) d\tau)^2}{2 \int_0^t \int_0^t b(\tau_1, \tau_2) d\tau_1 d\tau_2} \right), \quad (3)$$

где  $\overset{x}{*}$  – знак свертки функций по  $x$ ;  $t$  – время, на котором изучается процесс.

Аналогичный прием позволяет получить уравнение относительно второй моментной функции и дисперсионную функцию вида (4):

$$D(s(t, x)) = \left( s_0^2(x) * \frac{1}{\sqrt{2\pi \int_0^t \int_0^t b(\tau_1, \tau_2) d\tau_1 d\tau_2}} \exp \left( - \frac{(x - 2 \int_0^t M(\varepsilon_1(\tau)) d\tau)^2}{4 \int_0^t \int_0^t b(\tau_1, \tau_2) d\tau_1 d\tau_2} \right) \right) - \left( s_0(x) * \frac{1}{\sqrt{\pi \int_0^t \int_0^t b(\tau_1, \tau_2) d\tau_1 d\tau_2}} \exp \left( - \frac{(x - \int_0^t M(\varepsilon_1(\tau)) d\tau)^2}{2 \int_0^t \int_0^t b(\tau_1, \tau_2) d\tau_1 d\tau_2} \right) \right)^2. \quad (4)$$

Получив прогноз массовой доли, с помощью установленной взаимосвязи и известных выражений (3–8) можно легко перейти к относительной влажности и к прогнозу локальных явлений погоды, связанной с ее высокими значениями.

Существует взаимосвязь между относительной влажностью и массовой долей водяного пара, которая определяется выражениями (5) – (7) [4]:

$$s = 0,622 \frac{e}{p}, \quad (5)$$

где  $e$  – парциальное давление водяного пара;  $p$  – парциальное давление.

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где  $f$  – относительная влажность воздуха;  $E$  – давление насыщенного водяного пара.

Значение давления насыщенного водяного пара определяется по формуле, предложенной Магнусом [2]:

$$E = E_0 \cdot 10^{aT_B / (b + T_B)}, \quad (7)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты;  $T_B$  – температура воздуха;  $E_0$  – давление насыщенного пара при температуре  $T_{B0}$ , равное 6,1078 гПа.

Таким образом, в работе получены явные формулы для математического ожидания и дисперсионной функции влагосодержания в условиях стохастичности атмосферного движения. Данная модель позволяет учитывать влияние на перенос влаги случайных факторов, в частности неконтролируемых пульсаций скорости ветра, связанных с турбулентностью.

#### Литература

1. Белов Я.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды. – Л., Гидрометеиздат, 1989, 376 с.
2. Толстых М. А. Глобальные модели атмосферы: современное состояние и перспективы развития. – Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2016, № 359, с. 5–32.
3. Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. URL: <http://old.meteoinfo.ru/faq> (Дата обращения: 13.02.2019).
4. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000, 778 с.

## IDENTIFICATION OF THE INFLUENCE OF RANDOM FACTORS ON MOISTURE TRANSFER IN THE ATMOSPHERE

Ulshin I.I.<sup>1</sup>, Semenov M.E.<sup>1</sup>, Nozhkin V.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – *MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia,  
nozhkin-v@list.ru*

**Abstract.** A new approach to accounting for the turbulent properties of the atmosphere using hydrodynamic modeling is proposed.

Key words: hydrodynamic modeling, atmospheric turbulent properties, stochastic methods.