

МОНИТОРИНГ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Пилецкий А. А., Ботыгин И. А.
Томский политехнический университет
aap47@tpu.ru

Введение

На сегодняшний день имеется достаточное количество задач, для решения которых требуется изучение процессов в пограничном слое атмосферы (такие как: исследование аэрозолей, моделирование пограничного слоя атмосферы (ПСА), загрязнение атмосферы и др.).

Роль ПСА достаточно велика, несмотря на, казалось бы, небольшую его толщину. Ввиду того, что в пограничном слое воздушный поток задерживается, здесь более сильные вертикальные градиенты температуры. Процессы обмена энергией и влагой поверхностью и атмосферой также происходят в данном слое [1, 2].

Современные измерительные средства позволяют улучшать и повышать качество моделирования и мониторинга атмосферных процессов. Применение ультразвуковой автоматизированной метеорологической станции (УАМС) АМК-03 позволяет определить турбулентные характеристики атмосферного воздуха. Принцип действия метеостанции при измерении параметров воздушных потоков и температуры воздуха основан на измерении временных интервалов прохождения ультразвуковых сигналов между четырьмя парами пьезоэлектрических преобразователей ультразвуковых сигналов и вычислении по полученным значениям модуля и направления вектора групповой скорости воздушного потока, протекающего между преобразователями ультразвуковых сигналов, а также температуры воздуха.

Для получения мгновенных значений метеорологических величин была использована УАМС АМК-03. Из мгновенных метеорологических величин скорости ветра V_x , V_y , w и температуры воздуха T были получены временные ряды турбулентных пульсаций выше перечисленных величин.

Полученные вышеперечисленные ряды, с помощью формул теории вероятности использовались для расчета статистических характеристик случайных величин. Такие как, оценки среднеквадратических отклонений, коэффициентов корреляции, асимметрии и т.д. После статистической обработки данных из ее результатов были получены различные параметры турбулентности для пограничного слоя атмосферы.

Указанные вычисления производились при использовании формул теории атмосферной турбулентности Монина-Обухова.

Основные положения теории Монина-Обухова

В настоящее время для расчетов характеристик атмосферной турбулентности, а также моделирования используется теория Монина-Обухова [3].

В настоящее время для изучения атмосферной турбулентности применяется теория Монина-Обухова. В атмосферном пограничном слое уравнение баланса турбулентной энергии будет иметь вид:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{2} \overline{u'_\beta u'_\beta w'} + \frac{1}{\rho} \overline{p' w'} \right) = -\overline{u' w'} \frac{\partial U}{\partial z} - \frac{g}{\rho} \overline{p' w'} - \overline{\varepsilon}, \quad (1)$$

где U , u' , w' , ρ , p' - средние и пульсационные компоненты горизонтальной и вертикальной скорости и плотности; z - вертикальная координата (направлена вверх от поверхности); g - ускорение силы тяжести; ε - скорость диссипации кинетической энергии турбулентности под действием молекулярной вязкости.

Левая часть уравнения (1) описывает вертикальный перенос энергии пульсациями скорости и давления, обычно она полагается малой по сравнению с другими членами. Средние величины скорости и напряжений в поперечном к потоку направлении равны нулю в силу симметрии. В условиях развитой турбулентности вязкие напряжения трения пренебрежимо малы по сравнению с турбулентными напряжениями Рейнольдса (кроме примыкающего к поверхности вязкого подслоя), поэтому естественно считать, что перенос турбулентной энергии за счет сил вязкости очень мал по сравнению с переносом энергии турбулентными пульсациями скорости. Вклад сил плавучести в баланс турбулентной энергии выражается членом $B = -g \overline{p' w'}$, т.е. коррелированными пульсациями скорости и плотности. Основной вклад в изменение плотности вносят пульсации температуры при $\partial T / \partial z \neq 0$ и в меньшей степени пульсации влажности воздуха.

Продукция энергии за счет градиента плотности определяется вертикальными потоками тепла и водяного пара

$$\overline{p' w'} = -\frac{\rho}{T_v} \overline{T'_v w'}. \quad (2)$$

Градиент скорости определяется следующим образом:

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{u_*}{kz} \phi_u(\zeta), \quad (3)$$

где $u_*^2 = -\overline{u'w'}$, $\zeta = \frac{z}{L}$, $L = -\frac{T_v u_*^3}{\kappa g \overline{T'w'_v}}$ (4)

Входные данные

Для выполнения данной работы было разработано приложение, считывающее метеоданные, хранящиеся в файлах, с дальнейшей обработкой и вычислении основных характеристик погоды.

Каждый файл, сформированный УАМС АМК-03, хранит сведения об основных измеряемых метеорологических величинах (температура воздуха, скорость горизонтального и вертикально ветра, атмосферное давление и т.д.) в течение десятиминутного периода. При этом информация хранится в байтах.

Структура файла с метеоданными представлена на рисунке 1.

DF	07	03	00	01	00	00	00	07	00	14	00	1C	03	8C	0A
01	B2	FE	DB	FE	2B	00	BD	FF	49	ID	77	23	00	A9	FE
86	FE	18	00	C0	FF	49	ID	77	23	00	AB	FE	BF	FE	18
00	C2	FF	49	ID	77	23	00	AA	FE	CE	FE	24	00	BF	FF
48	ID	77	23	00	AE	FE	CD	FE	2A	00	AC	FF	49	ID	76
23	00	AD	FE	C5	FE	30	00	AA	FF	48	ID	77	23	00	BI
FE	D0	FE	3F	00	96	FF	49	ID	78	23	00	AE	FE	C7	FE
3F	00	9C	FF	49	ID	78	23	00	AE	FE	C7	FE	38	00	9D
FF	49	ID	78	23	00	B5	FE	CI	FE	38	00	9B	FF	49	ID
77	23	00	AC	FE	C4	FE	38	00	9A	FF	49	ID	77	23	00

Рис. 1. Структура файла с метеоданными

На основе прочитанных файлов производится формирование массива характеристик с последующим вычислением различных характеристик атмосферы, в том числе параметров турбулентности для пограничного слоя.

Анализ рассчитанных величин

На основе выполненных вычислений в разработанном приложении возможно провести анализ характеристик атмосферы за определенный период. В данной работе произведен анализ двух характеристик: упругости водяного пара (e) и дефицита влажности (E_d):

$$E_d = E - e, \quad (5)$$

где E - упругость пара, насыщающего воздух при данной температуре;

$$e = 6.112 * e^{\frac{17.62*t}{243.12+t}}, \quad (6)$$

где t - температура воздуха.

На рисунке 1 и рисунке 2 представлен суточный ход упругости водяного пара и дефицит влажности, характерного для 01.03.2015.

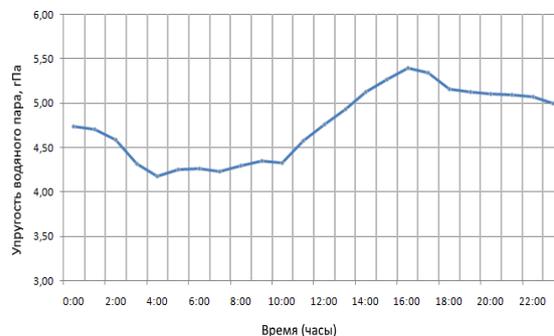


Рис. 2. Суточный ход упругости водяного пара

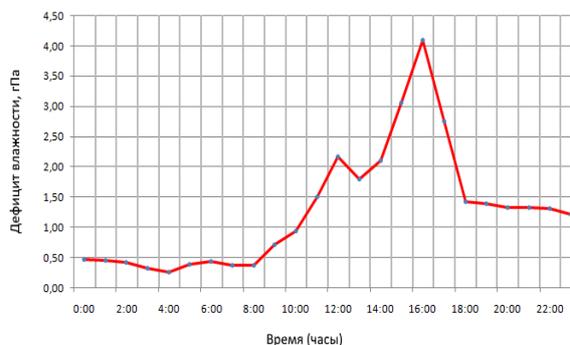


Рис. 3. Суточный ход дефицита влажности

Заключение

Вертикальный поток тепла является основной характеристикой пограничного слоя, определяющей термическое взаимодействие атмосферы и подстилающей поверхности. Для расчетов турбулентных характеристик было написано приложение с использованием платфоно-независимой технологии Java. В связи с большими затратами вычислительных ресурсов для формирования инфраструктуры и расчета нужных характеристик атмосферы, данное приложение будет усовершенствовано с использованием Grid-технологии в будущем.

Список литературы

1. J.A. Businger, J.C. Wyngard, Y. Isumi and E.F. Bradley. Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. J.Atmos.Sci., vol.28, 1971. – P. 181-189.
2. Брюхань Ф.Ф., Виноградов А.Ю., Лаврусевич А.А. Мониторинг пограничного слоя атмосферы на площадке Белорусской АЭС //

Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. –
2015. – № 2. – С. 27-32.

3. Монин А.С., Яглом А.М.. Статистическая
механика – Москва: Наука, 1965, – 639 с.