

enviromis
2016



**МЕТОДИКА И АЛГОРИТМЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ИЗ ДАННЫХ
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

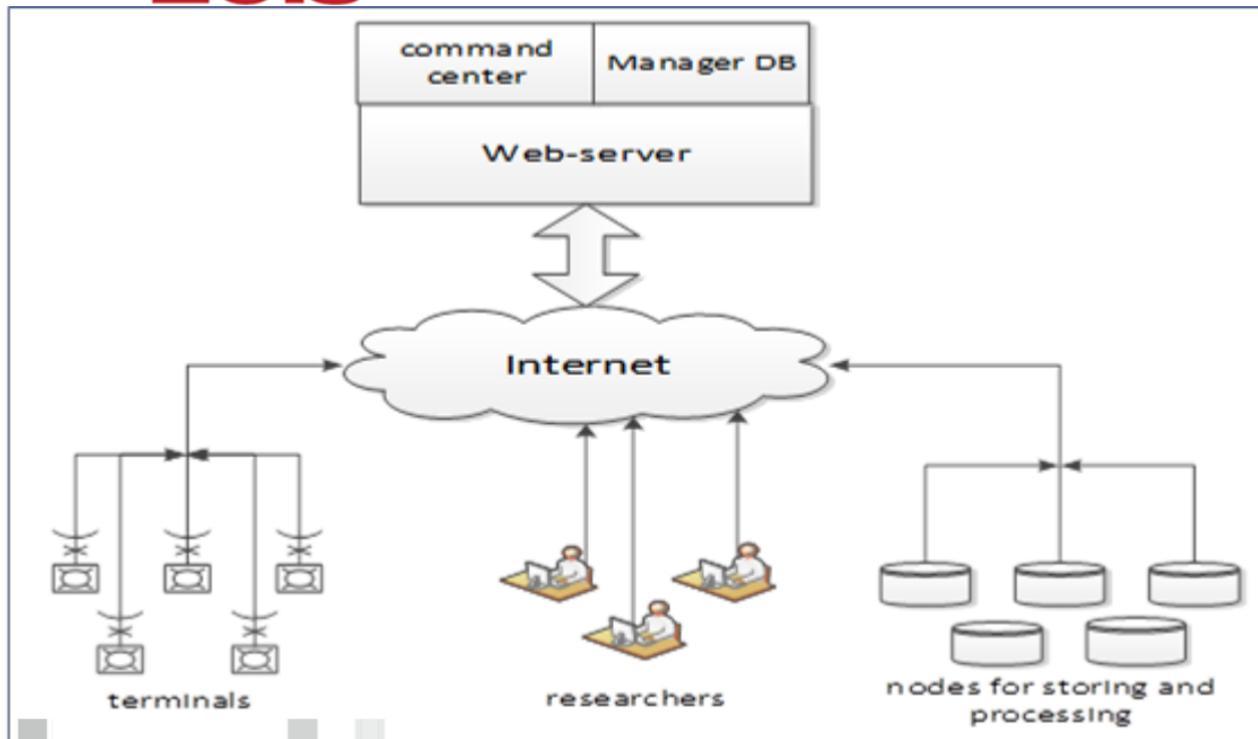
Рохмистров Д.С., Богушевич А.Я., Ботыгин И.А.

13 июля
2016

В научно-прикладных знаниях о свойствах земной атмосферы важную роль играют различные метеорологические измерения. Именно данные этих измерений позволяют получить знания о физико-химических процессах в атмосфере, определить состав и строение атмосферы, выявить ее тепловой режим и влагообмен, выяснить условия формирования различных оптических и акустических явлений в атмосфере и, что наиболее важно для большинства людей, осуществить моделирование прогноза погоды и климата.

Разработка программной системы для статистической обработки мгновенных значений метеорологических величин из данных ультразвуковых измерений





- ❑ **Этап 1.** Оценка усредненных значений метеорологических величин и других физических параметров, описывающих квазиравновесное за выбранный временной интервал состояние атмосферы в точке измерений.

- ❑ **Этап 2.** Подготовка к вычислениям параметров атмосферной турбулентности, создание новых массивов обрабатываемых данных и вычисление из них физически значимых статистических моментов второго (и выше) порядка.

- ❑ **Этап 3.** Вычисления значений параметров атмосферной турбулентности.

Среднее

$$\langle i \rangle = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} i_{i,k}$$

Дисперсия

$$D_i = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} (i_{i,k} - \langle i \rangle)^2$$

Модуль среднего вектора скорости ветра

$$\langle V \rangle = \sqrt{\langle v_s \rangle^2 + \langle v_e \rangle^2 + \langle w \rangle^2}$$

Средняя скорость горизонтального ветра

$$\langle V_h \rangle = \sqrt{\langle v_s \rangle^2 + \langle v_e \rangle^2}$$

Угол наклона к горизонту средней скорости ветра

$$\psi = \arccos\left(\frac{\langle V_h \rangle}{\langle V \rangle}\right)$$

Направление средней скорости горизонтального ветра

$$\langle D \rangle = \begin{cases} \pi + f, \langle v_s \rangle > 0,01 \\ f, \langle v_s \rangle < -0,01; \langle v_e \rangle \geq 0 \\ 2\pi + f, \langle v_s \rangle < -0,01; \langle v_e \rangle < 0 \\ \frac{\pi}{2}, |\langle v_s \rangle| \leq 0,01; \langle v_e \rangle \geq 0 \\ \frac{3\pi}{2}, |\langle v_s \rangle| \leq 0,01; \langle v_e \rangle < 0 \end{cases}$$

Давление насыщенного пара

$$e_w = \left(6.112 * e^{\frac{17.62T}{243.12+T}} \right) * (1.0016 + 3.15 * 10^{-6}P - 0.074P^{-1})$$

Упругость водяного пара

$$e = \frac{e_w * r}{100\%}$$

Дефицит влажности

$$E_d = e_w - e$$

Абсолютная влажность воздуха

$$q = \frac{r * P * M}{R * T * 100\%}$$

Плотность воздуха

$$\rho = \frac{P * M}{R * T}$$

Турбулентные пульсации:

1. Температура.

$$T' = T - \langle T \rangle$$

2. Вертикальная компонента скорости ветра.

$$w' = w - \langle w \rangle$$

3. Продольная компонента скорости ветра.

$$u' = (\langle v_s \rangle * (v_s - \langle v_s \rangle) + \langle v_e \rangle * (v_e - \langle v_e \rangle)) / \langle V_h \rangle$$

4. Поперечная компонента скорости ветра.

$$v' = (-\langle v_s \rangle * (v_e - \langle v_e \rangle) + \langle v_e \rangle * (v_s - \langle v_s \rangle)) / \langle V_h \rangle$$

5. Момент потока тепла.

$$\langle T' * w' \rangle$$

6. Момент потока импульса.

$$\langle u' * w' \rangle$$

Параметры атмосферной турбулентности:

1. Полная энергия турбулентных движений.

$$E_v = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2) / 2$$

2. Относительная интенсивность флуктуаций скорости ветра.

$$I_v = E_v / V_m^2$$

3. Энергия температурных флуктуаций.

$$E_t = \sigma_t^2$$

Параметры атмосферной турбулентности:

4. Вертикальный поток импульса.

$$\tau = -\rho \langle u' * w' \rangle$$

5. Вертикальный поток тепла.

$$H = c_p * \rho * \langle T' * w' \rangle$$

6. Скорость трения (масштаб ветра).

$$v^* = \sqrt{-\langle u' * w' \rangle}$$

7. Масштаб температуры.

$$T^* = -\langle T' * w' \rangle / v^*$$

8. Масштаб Монины-Обухова.

$$L^* = \langle T \rangle * (v^*)^2 / \chi * g * T^*$$

9. Коэффициент сопротивления потоку.

$$C_d = \left(\frac{v^*}{\langle V \rangle} \right)^2$$

10. Структурная постоянная температурных флуктуаций.

$$C_T^2 = \langle [T'(t + \Delta t) - T'(t)]^2 \rangle * (\langle V \rangle \Delta t)^{-2/3}$$

11. Структурная постоянная ветровых флуктуаций.

$$C_V^2 = \langle [u'(t + \Delta t) - u'(t)]^2 \rangle * (\langle V \rangle \Delta t)^{-2/3}$$

12. Структурная постоянная флуктуаций акустического показателя преломления.

$$C_{na}^2 = \frac{C_T^2}{4 \langle T \rangle^2} + \frac{C_V^2}{\langle c \rangle^2}$$

13. Структурная постоянная флуктуаций оптического показателя преломления.

$$C_{no}^2 = \{ 8 * 10^{-5} * \langle P \rangle / \langle T \rangle^2 \}^2$$

Прогностические оценки значений:

1. Локальная градиента скорости ветра. $\frac{du}{dz} = \frac{v^*}{\chi} \Phi_v \left(\frac{z_m}{L^*} \right)$
2. Локальная градиента потенциальной температуры на высоте z_m . $\frac{d\theta}{dz} = \frac{T^*}{\chi} \Phi_T \left(\frac{z_m}{L^*} \right)$
3. Локальная градиента температуры на высоте z_m . $\frac{dT}{dz} = \frac{d\theta}{dz} - 0,0098$
4. Коэффициент турбулентного обмена количества движения. $K_m = v^{*2} / \frac{du}{dz}$
5. Коэффициент турбулентного обмена тепла. $K_h = v^* * T^* / \frac{d\theta}{dz}$
6. Внешний масштаб турбулентности. $L_0 = \left(K_m / \left| \frac{du}{dz} \right| \right)^{1/2}$
7. Скорость диссипации энергии ветровых флуктуаций. $\varepsilon = K_m \left(\frac{du}{dz} \right)^2 - \left(\frac{g}{\langle T \rangle} \right) K_h \frac{d\theta}{dz}$
8. Скорость диссипации энергии температурных флуктуаций. $N = K_h \left(\frac{d\theta}{dz} \right)$
9. Градиентное число Ричардсона. $R_i = \left(\frac{g}{\langle T \rangle} \right) \left(\frac{d\theta}{dz} \right) / \left(\frac{du}{dz} \right)$

Прогностические оценки значений:

1. Локальная градиента скорости ветра. $\frac{du}{dz} = \frac{v^*}{\chi} \Phi_v \left(\frac{z_m}{L^*} \right)$
2. Локальная градиента потенциальной температуры на высоте z_m . $\frac{d\theta}{dz} = \frac{T^*}{\chi} \Phi_T \left(\frac{z_m}{L^*} \right)$
3. Локальная градиента температуры на высоте z_m . $\frac{dT}{dz} = \frac{d\theta}{dz} - 0,0098$
4. Коэффициент турбулентного обмена количества движения. $K_m = v^{*2} / \frac{du}{dz}$
5. Коэффициент турбулентного обмена тепла. $K_h = v^* * T^* / \frac{d\theta}{dz}$
6. Внешний масштаб турбулентности. $L_0 = \left(K_m / \left| \frac{du}{dz} \right| \right)^{1/2}$
7. Скорость диссипации энергии ветровых флуктуаций. $\varepsilon = K_m \left(\frac{du}{dz} \right)^2 - \left(\frac{g}{\langle T \rangle} \right) K_h \frac{d\theta}{dz}$
8. Скорость диссипации энергии температурных флуктуаций. $N = K_h \left(\frac{d\theta}{dz} \right)$
9. Градиентное число Ричардсона. $R_i = \left(\frac{g}{\langle T \rangle} \right) \left(\frac{d\theta}{dz} \right) / \left(\frac{du}{dz} \right)$

Установка срока наблюдений

Начало срока наблюдений **Конец срока наблюдений**

01 03 2015 **03 03 2015**

Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13	7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31				28	29	30	31			

<< Год << Месяц 01 03 2015 Месяц >> Год >> << Год << Месяц 03 03 2015 Месяц >> Год >>

Принять выбранный срок наблюдений

Установка интервала усреднения

Начало интервала усреднения
00 час 07 мин 21 сек

Конец интервала усреднения
00 час 07 мин 23 сек

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59

<< Час << Минута 00 07 21 Минута >> Час >> << Час << Минута 00 07 23 Минута >> Час >>

Принять установленный интервал усреднения

Управление данными:

Выберите файл:

Обзор...

Загрузить

[Удалить предыдущие данные](#)

Измерения

Расчёты

Краткая статистика

Исходные данные

Сокращения:

Date - Дата и время (год-месяц-день час:мин:сек:мс); T - Температура град. Цельсия; V_s - Ю.комп.ветра м/сек;

V_e - В.комп.ветра м/сек; w - Верт.комп.ветра м/сек; P - Давление мм рт.ст.; r - Влажность %; e - Ошибка код ;

№	Date	T	V_s	V_e	w	P	r	e
1	2015-03-01 00:07:21,001	-3.43	-2.93	0.28	-0.92	749.8	90.8	0
2	2015-03-01 00:07:21,014	-3.43	-2.92	0.35	-0.92	749.8	90.79	0
3	2015-03-01 00:07:21,026	-3.35	-3.09	0.25	-0.89	749.8	90.8	0
4	2015-03-01 00:07:21,039	-3.4	-2.73	0.42	-0.92	749.8	90.8	0
5	2015-03-01 00:07:21,051	-3.35	-2.74	0.43	-0.87	749.8	90.8	0
6	2015-03-01 00:07:21,064	-3.39	-2.73	0.33	-0.86	749.8	90.8	0
7	2015-03-01 00:07:21,076	-3.4	-2.8	0.4	-0.84	749.8	90.8	0
8	2015-03-01 00:07:21,089	-3.4	-2.6	0.42	-0.94	749.8	90.81	0
9	2015-03-01 00:07:21,101	-3.34	-2.81	0.35	-0.9	749.8	90.81	0
10	2015-03-01 00:07:21,114	-3.41	-2.93	0.3	-0.88	749.8	90.81	0
11	2015-03-01 00:07:21,126	-3.41	-2.89	0.28	-0.9	749.8	90.82	0
12	2015-03-01 00:07:21,138	-3.39	-2.8	0.28	-0.87	749.8	90.82	0
13	2015-03-01 00:07:21,151	-3.47	-2.84	0.23	-0.86	749.8	90.82	0
14	2015-03-01 00:07:21,163	-3.45	-2.6	0.44	-1	749.8	90.82	0
15	2015-03-01 00:07:21,176	-3.43	-2.63	0.25	-0.98	749.8	90.82	0
16	2015-03-01 00:07:21,188	-3.32	-2.72	0.34	-0.93	749.8	90.82	0
17	2015-03-01 00:07:21,201	-3.37	-2.8	0.18	-0.94	749.8	90.82	0

Таблица зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры

Сокращения:

t_nas - Температура насыщения (°C); P_nas

- Давление мм. рт. ст.; P_nas_gpa -

Давление гПа = 1 мм. рт. ст.*1,33; "

t_nas	P_nas	P_nas_gpa
-20	0.8	1.064
-19	0.9	1.197
-18	0.9	1.197
-17	1	1.33
-16	1.1	1.463
-15	1.2	1.596
-14	1.4	1.862
-13	1.5	1.995

Управление данными:

Выберите файл:

[Удалить предыдущие данные](#)

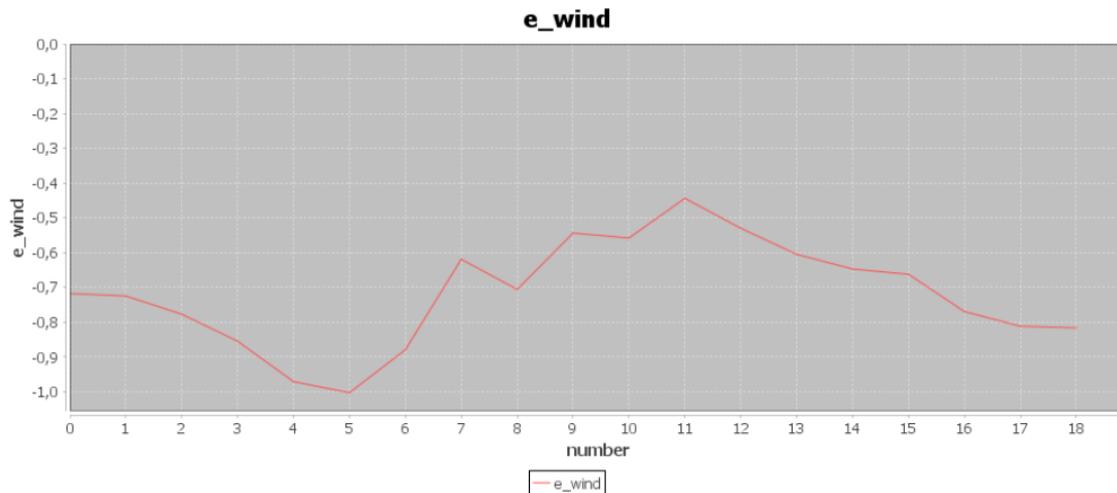
Измерения

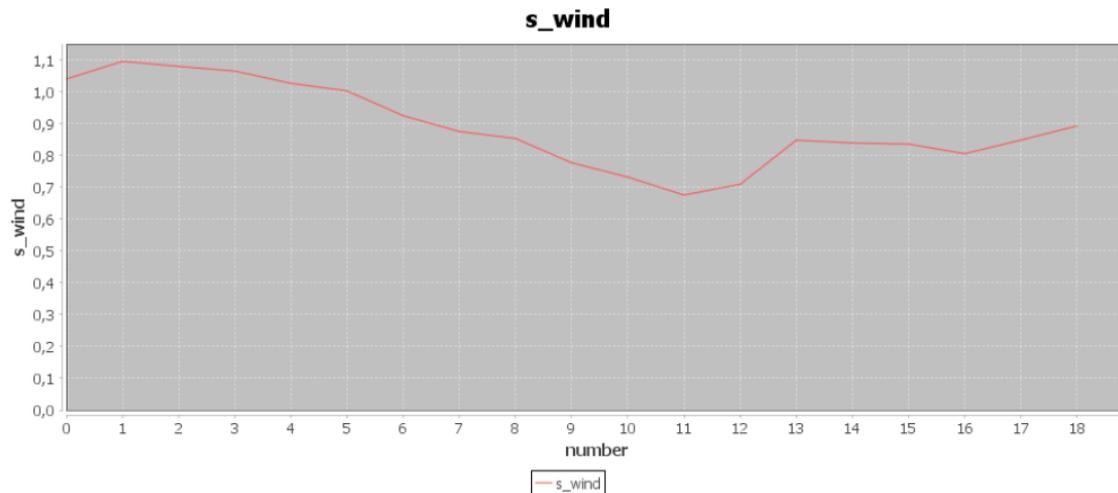
Расчёты

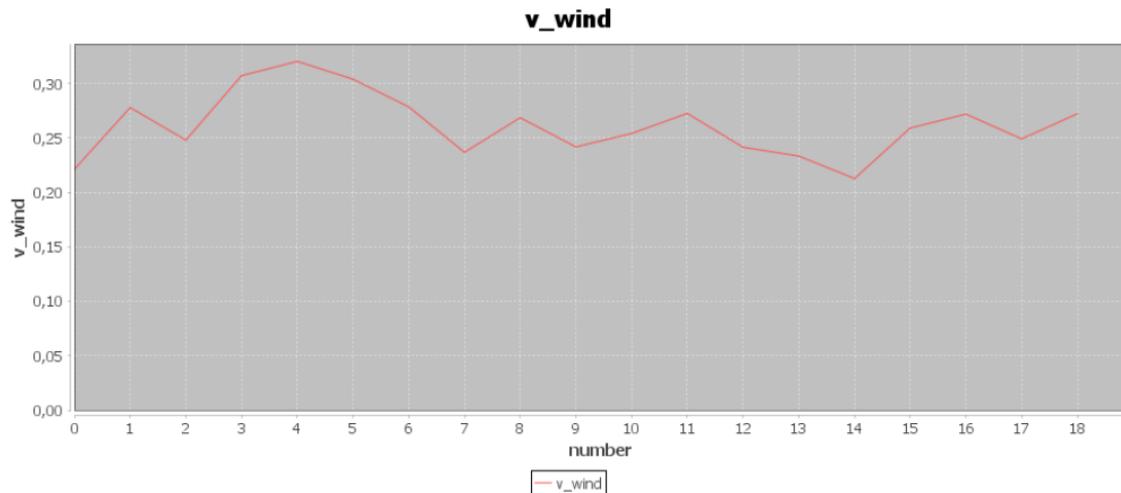
Краткая статистика

Средние данные за период с 2015-03-01 00:07:21,001 по 2015-03-01 00:07:22,996

Характеристики воздуха		Характеристики ветра	
Средняя температура воздуха, С;	-3.3998136645962731	Средняя скорость горизонтального ветра, м/с;	2.67072879994
Стандартное отклонение температуры, С;	0.00136309006211802	Минимальная скорость мгновенного горизонтального ветра, м/с;	2.34554897625
Атмосферное давление мм.рт.ст.;	749.7546583850937623	Максимальная скорость мгновенного горизонтального ветра, м/с;	3.10009677268
Относительная влажность воздуха, %;	90.7939130434781703	Стандартное отклонение скорости горизонтального ветра, м/с;	0.138405135118734507
Упругость (давление) водяного пара, гПа;	4.09414337715	Среднее направление горизонтального ветра, градусы;	0.1384645188145543
Дефицит влажности, гПа;	0.415127387718	Стандартное отклонение направления ветра, градусы;	0.040956288505971411
Температура точки росы, С;	-4.68425513139	Средняя скорость вертикального ветра, м/с;	-0.7211801242236023
Абсолютная влажность воздуха, г/м ³	3.35758019948	Стандартное отклонение скорости вертикального ветра, м/с;	0.184970633499286718
Массовая концентрация влаги, о/оо;	2.98554604402	Угол наклона к горизонту среднего вектора скорости ветра, градусы;	0.263740921801
Плотность воздуха, г/м ³ ;	1.08811192046	Модуль среднего вектора скорости ветра, м/с;	2.76638628799
Скорость звука в воздухе, м/с.	329.360111801	Среднее значение южного компонента скорости ветра, м/с;	-2.6455279503105587
		Среднее значение восточного компонента скорости ветра, м/с;	0.3660248447204970







Разработанное программное обеспечение позволяет вычислять для любого периода работы ультразвукового термоанемометра средние значения метеорологических величин, а также параметры и статистические функции для атмосферных полей температуры и ветра, традиционно применяемые для анализа термодинамического состояния приземного атмосферного слоя и числовых оценок общепринятых характеристик его турбулентности.

enviromis
2016



**МЕТОДИКА И АЛГОРИТМЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ИЗ ДАННЫХ
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Рохмистров Д.С., Богушевич А.Я., Ботыгин И.А.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

**16 июля
2016**