Методы зондирования окружающей среды

Обработка Аэрологических оптических шар-пилотных наблюдений

Российский государственный
гидрометеорологический университет

Расчет высоты шар-пилота

Высоту H можно определить, если известны вертикальная скорость шар-пилота w и время Δt, прошедшее с момента выпуска шар-пилота:

$$H = w \cdot \Delta t \, .$$

Вертикальная скорость шар-пилота определяется перед выпуском шар-пилота, а время – по секундомеру.

Практически определение вертикальной скорости шар-пилота значительно упрощается с помощью специальных таблиц, учитывающие еще и поправки на изменение плотности воздуха с изменением температуры.

Дискретность обработки данных шар-пилотных наблюдений

Дискретность обрабатываемых моментов времени:

- через 0.5 мин до 3-ей минуты включительно;

- через 1 мин с 3-ей до 10-й мин;

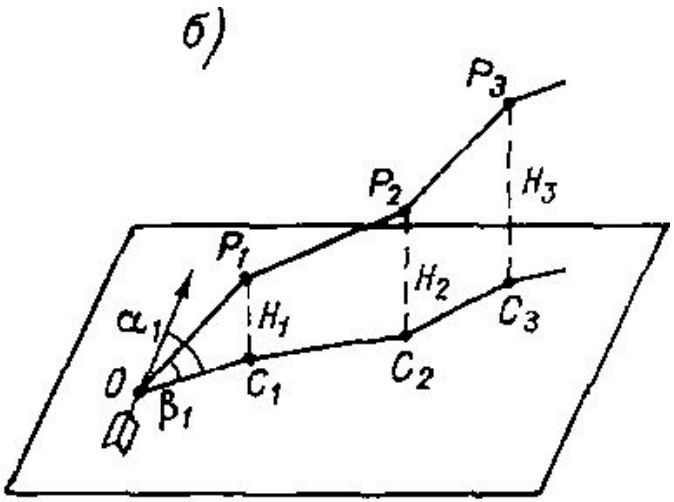
- через 2 мин с 10-й мин до 40 мин,

- через 4 мин с 40 мин до конца подъёма, включая последнюю минуту наблюдения.

Особенность использования метода оптических шар-пилотных наблюдений заключается в том, что с его помощью могут быть рассчитаны лишь **осредненная** в слоях атмосферы скорость и направление ветра.

Толщина каждого такого слоя определяется вертикальной скоростью перемещения объекта и интервалами времени между смежными отчетами.

В дальнейшем эти значения рассматриваются как скорость и направления ветра на высотах, соответствующие высоте середины соответствующих слоев.



$$\overline{H}_1 = \frac{H_1}{2} = \frac{P_1C_1}{2} = \frac{w\,\Delta t_1}{2}$$

$$\overline{H}_2 = \frac{H_2 - H_1}{2} = \frac{P_2C_2 - P_1C_1}{2} = \frac{w\,\Delta t_2}{2}$$

$$\overline{H}_2 \neq \frac{H_2}{2}\,!$$

Существуют графический и аналитический методы обработки данных шаропилотных наблюдений.

Первоначально наибольшее развитие в оперативной практике получил графический метод, который обладает достаточной простотой и наглядностью. Однако графический метод не обеспечивает достаточной точности обработки исходных данных, поскольку при реализации графического метода часто возникают ошибки как субъективного, так и методического характера.

От указанных недостатков графического метода свободен аналитический метод обработки данных шаропилотных наблюдений.

Графический метод обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений состоит из двух этапов.

Этап 1. Построение положений проекций шар-пилота на горизонтальной поверхность в разные моменты времени.

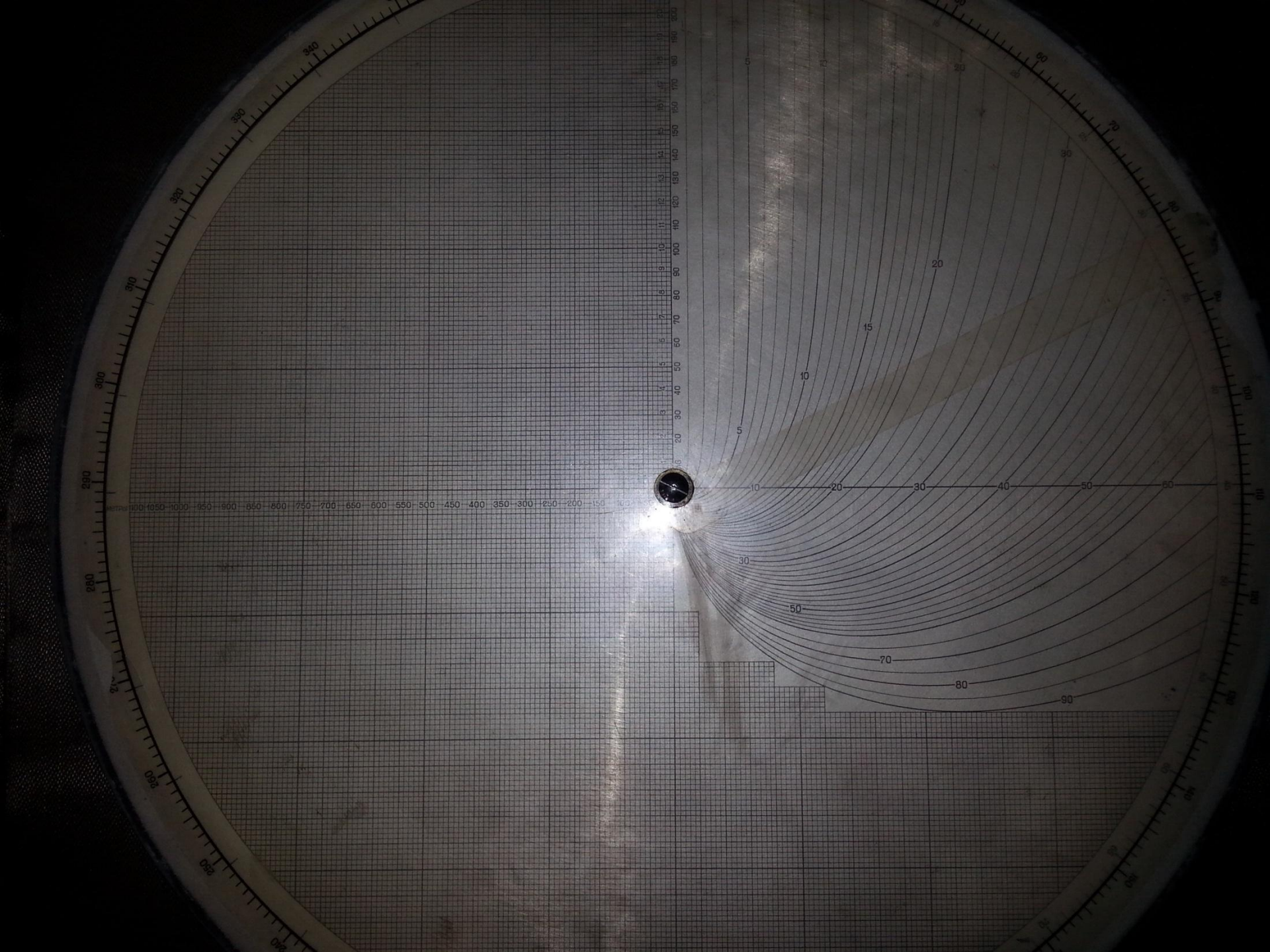
Этап 2. Последовательное использование положений двух соседних пар проекций для определения скорости и направления ветра.

Для графического определения скорости и направления ветра на высотах по результатам шаропилотных наблюдений используется **круг Молчанова** (синоним: аэрологический планшет А-30).

Этот прибор состоит из:
- металлического неподвижного диска, на одной из сторон которого отпечатана номограмма,
- прозрачного целлулоидного круга, который вращается около центра неподвижного круга,
- подвижной линейки, вращающейся вокруг центра круга.

На прозрачном круге с помощью номограммы строится **горизонтальная проекция шара-пилота**, по которой определяются скорость и направление ветра.

Внешний вид круга Молчанова (аэрологический планшет А-30).


METRES 1100 1050 1000 950 900 850 800 750 700 650 600 550 500 450 400 350 300 250 200 150 100
10 20 30 40 50 60
5 10 15 20 30
30 50 70 80 90

1000
950
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50

Аналитический метод

Более точными, естественно, являются аналитические методы обработки, использование которых в оперативной практике возможно лишь при использовании компьютерной техники. Применение компьютерной техники в то же время позволяет архивировать исходные данные и результаты расчетов, упростить процесс представления информации и передачи ее потребителям, повысить культуру труда .

Алгоритм обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений

$$H_i = W\, t_i$$

$$x_i = H_i\, ctg\, \beta_i \cos\alpha_i$$

$$y_i = H_i\, ctg\, \beta_i \sin\alpha_i$$

$$V_{i,i-1}(м/с) = \frac{\sqrt{\Delta x_{i,i-1}{}^2 + \Delta y_{i,i-1}{}^2}}{60\,\Delta t_{i,i-1}} \quad \Delta x_{i,i-1} = x_i - x_{i-1} \quad \Delta y_{i,i-1} = y_i - y_{i-1} \quad \Delta t_{i,i-1} = t_i - t_{i-1}$$

$$a_{i,i-1} = arc\,tg \left| \frac{\Delta y_{i,i-1}}{\Delta x_{i,i-1}} \right|$$

$$d_i = \begin{cases} 180^0 + a_{i,i-1} & если\ \Delta x_{i,i-1} > 0,\ \Delta y_{i,i-1} > 0 \\ a_{i,i-1} & если\ \Delta x_{i,i-1} < 0,\ \Delta y_{i,i-1} < 0 \\ 360^0 - a_{i,i-1} & если\ \Delta x_{i,i-1} < 0,\ \Delta y_{i,i-1} > 0 \\ 180^0 - a_{i,i-1} & если\ \Delta x_{i,i-1} > 0,\ \Delta y_{i,i-1} < 0 \end{cases}$$

Пример заполнения таблицы при аналитическом расчете скорости и направления ветра

T, мин	*α, ^{0}*	*β, ^{0}*	*H, м*	*x*	*y*	*V, м/с*	*Δx*	*Δy*	*a*	*d, ^{0}*
0.5	159.5	47.7	100	-85.3	31.9	3.0	-85.3	31.9	20.5	340
1.0	155.5	47.2	200	-168.5	75.9	3.1	-83.2	44.0	27.9	332
1.5	158.0	47.2	300	-258.4	102.8	3.1	-89.9	26.9	16.7	343
2.0	157.0	49.0	400	-310.1	135.6	2.3	-61.7	32.8	28.0	332
2.5	157.0	47.7	500	-419.1	177.5	3.6	-99.0	41.9	22.9	337
3.0	164.5	45.5	600	-568.7	159.3	5.0	-149.6	-18.2	6.9	7
4.0	164.3	43.8	800	-803.5	225.3	4.1	-234.8	66.0	15.7	353
5.0	169.0	43.9	1000	-1020.3	197.4	3.6	-216.8	-27.9	7.3	7
6.0	172.0	45.8	1200	-1155.9	163.3	2.3	-135.6	-34.1	14.1	14

Пример обработки данных однопунктных шар-пилотных наблюдений

$H_i = W\, t_i$ W=200 м/мин; H_1=200 0.5 =100м; H_2=200 1.0 =200м;

$$x_i = H_i\, ctg\, \beta_i \cos\alpha_i$$

X_1=100 *ctg* (47.7) *cos* (159.5) = 100 0.91 (-0.937) = -85.3

X_2 = 200 *ctg* (47.2) *cos* (155.5) = 200 0.926 (-0.91) = -168.5

$$y_i = H_i\, ctg\, \beta_i \sin\alpha_i$$

Y_1 = 100 *ctg* (47.7) *sin* (159.5) = 100 0.91 0.35 = 31.9

y_2 = 200 ctg (47.2) *sin* (155.5) = 200 0.926 0.41 = 75.9

$$V_{i,i-1}(м/с) = \frac{\sqrt{\Delta x_{i,i-1}{}^2 + \Delta y_{i,i-1}{}^2}}{60\,\Delta t_{i,i-1}}$$

$V_{1,0}$ = [$(-85.3 - 0)^2 + (31.9 - 0)^2$] / [60 (0.5 - 0)] = 3.0

$V_{2,1}$ = [$(-168.5 + 85.3)^2 + (75.9 – 31.9)^2$] / [60 (1 - 0.5)] = 3.1

$$a_{i,i-1} = arctg\left|\frac{\Delta y_{i,i-1}}{\Delta x_{i,i-1}}\right|$$

$A_{1,0}$ = *arc tg* l [(31.9 - 0) / (-85.3 - 0)] = 20.5; Δx <0; Δy>0

$A_{2,1}$ = *arc tg* l [(75.9 – 31.9) / (-168.5 + 85.3)] = 27.9; Δx <0; Δy>0

$$d_i = \begin{cases} 180^0 + a_{i,i-1} & если\ \Delta x_{i,i-1} > 0,\ \Delta y_{i,i-1} > 0 \\ a_{i,i-1} & если\ \Delta x_{i,i-1} < 0,\ \Delta y_{i,i-1} < 0 \\ 360^0 - a_{i,i-1} & если\ \Delta x_{i,i-1} < 0,\ \Delta y_{i,i-1} > 0 \\ 180^0 - a_{i,i-1} & если\ \Delta x_{i,i-1} > 0,\ \Delta y_{i,i-1} < 0 \end{cases}$$

$D_{1,0}$ = 360 – 20.5 = 239.5

$D_{2,1}$ = 360 – 27.9 = 232.1

Полученные значения скорости и направления ветра записывают в соответствующие графы бланка КАЭ-1 в строку, соответствующую концу обрабатываемого интервала времени, т. е. моменту времени t_i.

Осуществляют привязку полученных ветровых характеристик к высоте. При этом найденные значения скорости и направления ветра относят к высоте середины слоя, пройденному шар-пилотом за соответствующий интервал времени.

Представление данных однопунктных шар-пилотных наблюдений

Полученные значения скорости и направления ветра, отнесенные к высотам середины слоев над уровнем моря, наносят на график, который строится в масштабе: по вертикали - 1 см ~ 200 м; по горизонтали - 1 см ~ 2м/с, 1 см ~ 10^0.

Первой точкой на графиках наносятся данные о скорости и направлении ветра на уровне станции, с учетом высоты станции над уровнем моря

Все нанесенные точки соединяют прямыми линиями (кусочно-линейная интерполяция).

С построенных графиков снимают значения скорости и направления ветра на стандартных высотах, изобарических поверхностях, высотах особых точек, уровнях наибольшей скорости ветра и максимальной скорости ветра.

В основу критерия для выбора особых точек ветра положена возможность восстановления по этим точкам кривой изменения с высотой направленияветра с точностью до 10^0, скорости ветра до 5 м/с.

Особыми точками ветра являются начальная и конечная высота подъема, уровень максимальной скорости ветра, границы пропуска в наблюдениях. Уровнем максимального ветра считается слой атмосферы выше изобарической поверхности 500 гПа (5500 м) где наблюдается скорость ветра превышающая 30 м/с и изменение скорости в двух километровом слое выше или ниже больше 10 м/с.

Дополнительно на построенных кривых изменения ветра с высотой намечают предполагаемые особые точки, где наблюдается значительный излом кривых.

Затем последовательно, в порядке возрастания высоты, исследуют каждую предполагаемую особую точку. Для этого соединяют прямой две соседние с исследуемой точки: нижележащую, уже выбранную особую точку, и вышележащую предполагаемую особую точку. На этой прямой на уровне исследуемой точки определяют линейно интерполированное

значение скорости или направления ветра.

Исследуемую точку включают в число особых, если:

линейно интерполированное значение скорости ветра отличается от действительного более чем на 5 м/с;

линейно интерполированное значение направления ветра отличается от действительного более чем на 10^0.

Найденные значения скорости и направления ветра на стандартных высотах, стандартных изобарических поверхностях записывают в соответствующие графы в левой части бланка КАЭ-1 с точностью до целых.

Пример КАЭ-1

Елизарова Анастасия ПМ-Б14-1-1 08.09.16

Шар-пилот № 310

Дата 16.06.1988 (число, месяц, год) Время ____ час (мест. ср. солнечное) ____ мин 15 час 50 мин (москв. декрет)

Оболочка № 30 Вес оболочки 76 гр. Вес фонарика ____ гр.

Свободн. Подъемн. Сила 199 гр. Длина окружн. ____ см. Попр.множитель ____

Вертикальная скорость 200 м/мин Испр. На плотность 200 м/мин

Давление 1009,1 мб Температура: по сухому 19,8 по смочен. ____

Влажность относит. 54 %

	Облачность кол-во общ. ниж. и форма	Ветер (по флюгеру) направл. и скорость
До подъема	3/0 Cs	СЗ-2
После подъема	3/0 Cs	СЗ-2

Термический ветер		
слой	d	V
1,0 - 5,5		
5,5 - 9,0		
1,0 - 9,0		

Причина прекращения наблюдений ____

Шар скрылся в ЮВ направлении

Форма и высота облаков, в которые вошел шар (по моменту "туманится")

над поверхностью земли ____

над уровнем моря ____

Ветер на высотах стандарт., изобарич. поверх., наибольшей и макс. скорости								
км	направл.	скор.	км	направл.	скор.	км.	направл.	скор.
над поверх. земли			4,0			18,0		
0,1			5,0					
0,2			5,5					
0,3	337	3	6,0					
0,5			7,0					
0,6	330	4	8,0					
0,9	352	4	9,0					
над уровнем моря			10,0					
0,5	337	2	11,0					
1,0	350	4	12,0					
1,5	338	3	13,5					
2,0	312	7	14,0					
3,0	308	11	16,0					

Наблюдал и обработал ____ (фамилия)

Проверил ____ (фамилия, дата)

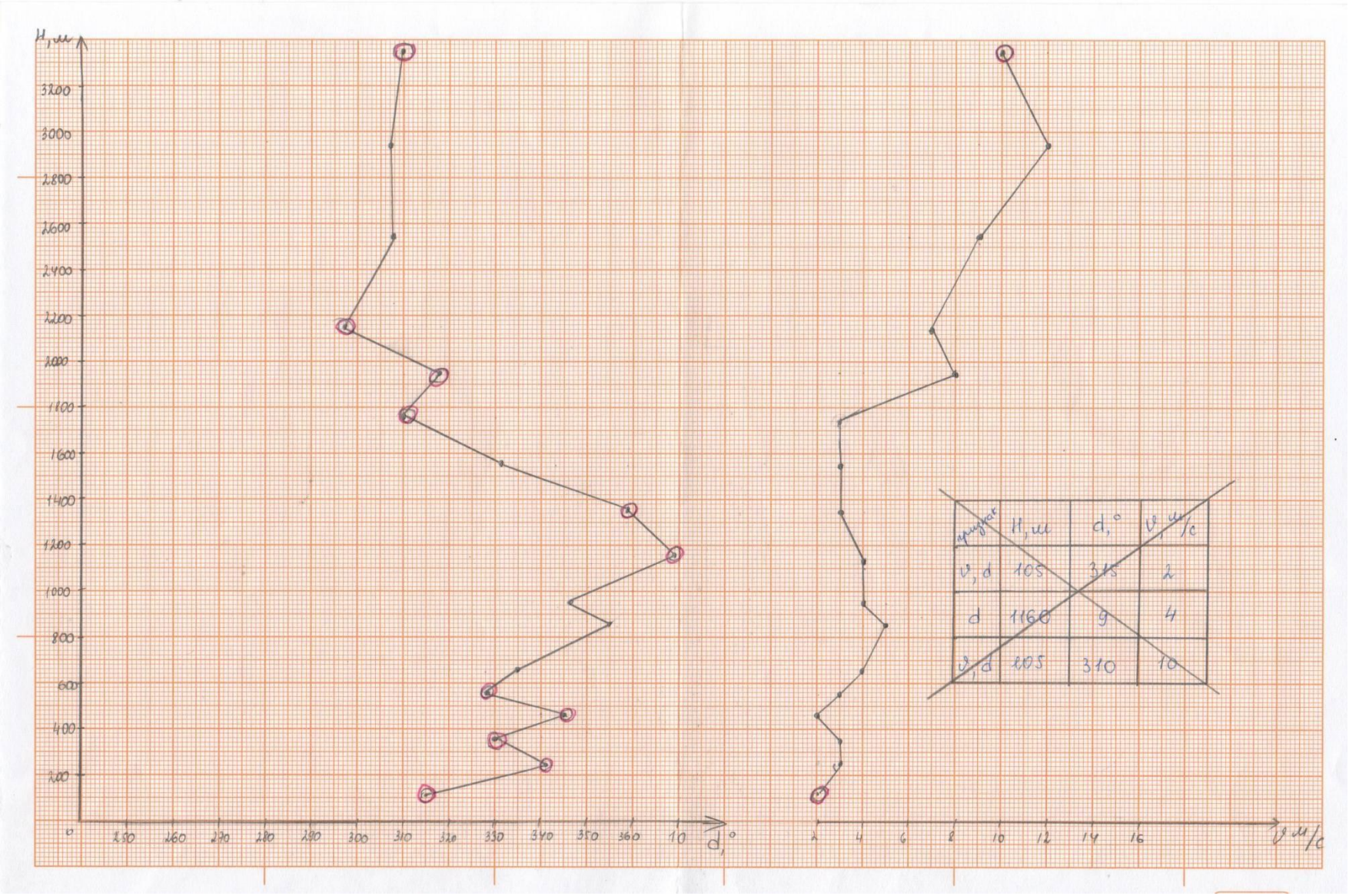
Ннум=105м

минуты	Угол горизонтальный α	Угол вертикальный β	Высота шара над поверхность земли		Высота середины слоя над поверхн. земли	Высота середины слоя над уровнем моря	Ветер направления	Ветер скорость
	отсчеты							
0,5	164,6	50,2	100	205	150	260	341	3
1,0	155,7	48,9	200	305	250	360	330	3
1,5	158,0	51,0	300	405	350	460	345	7
2,0	155,0	50,0	400	505	450	560	328	3
2,5	155,0	48,5	500	605	550	660	335	4
3	159,5	46,0	600	705	750	860	355	5
4	162,0	44,2	800	905	850	960	346	4
5	16,8	44,2	1000	1105	1050	1160	9	4
6	169,2	46,0	1200	1305	1250	1360	359	3
7	167,0	47,0	1400	1505	1450	1560	331	3
8	162,1	46,6	1600	1705	1650	1760	310	3
9	156,3	43,1	1800	1905	1850	1960	318	8
10	150,5	41,0	2000	2105	2050	2160	297	7
11	146,0	36,4						
12	142,0	33,6	2400	2505	2450	2560	308	9
13	140,3	31,2						
14	138,1	29,1	2800	2905	2850	2960	308	12
15	136,2	28,0						
16	134,5	27,2	3200	3305	3250	3360	300	10
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								

Пример аналитических расчетов

T, мин	α, гориз.	β, вертик	H, м	x	y	V, м/с	Δy	Δx	a	d, °
0,5	164,6	50,2	100	-80,3	22,1	3	22,1	-80,3	15,4	339
1,0	155,7	48,9	200	-159,0	71,8	2	49,7	-78,7	32,3	327
1,5	158,0	51,0	300	-225,2	91,0	1	19,2	-66,2	16,2	342
2,0	155,0	50,0	400	-304,2	141,8	1	50,8	-78,9	32,8	330
2,5	155,0	48,5	500	-400,9	186,9	3	45,1	-96,7	25	335
3	159,5	46,0	600	-542,7	202,9	2	15,9	-141,8	6,4	352
4	162,0	44,2	800	-782,4	254,2	1	51,3	-239,7	12,1	343
5	168,0	44,2	1000	-1005,8	213,8	1	40,4	-223,5	10,3	10
6	169,2	46,0	1200	-1138,3	217,1	2	3,3	-132,5	1,4	360
7	167,0	47,0	1400	-1272,1	293,7	2	76,5	-133,8	29,8	334
8	162,1	46,6	1600	-1439,8	465,1	3	171,4	-167,7	45,6	312
9	156,3	43,1	1800	-1761,3	773,1	6	308,1	-321,5	43,8	317
10	150,5	41,0	2000	-2002,5	1132,9	7	359,8	-241,2	56,2	295
12	142,0	33,6	2400	-2846,5	2223,9	10	555,3	-372,7	56,1	306
14	138,1	29,1	2800	-3744,3	3359,6	14	617,3	-441,2	54,4	307
16	134,5	27,2	3200	-4364,2	4396,6	9	491,5	-248,3	61,4	300

Пример графиков

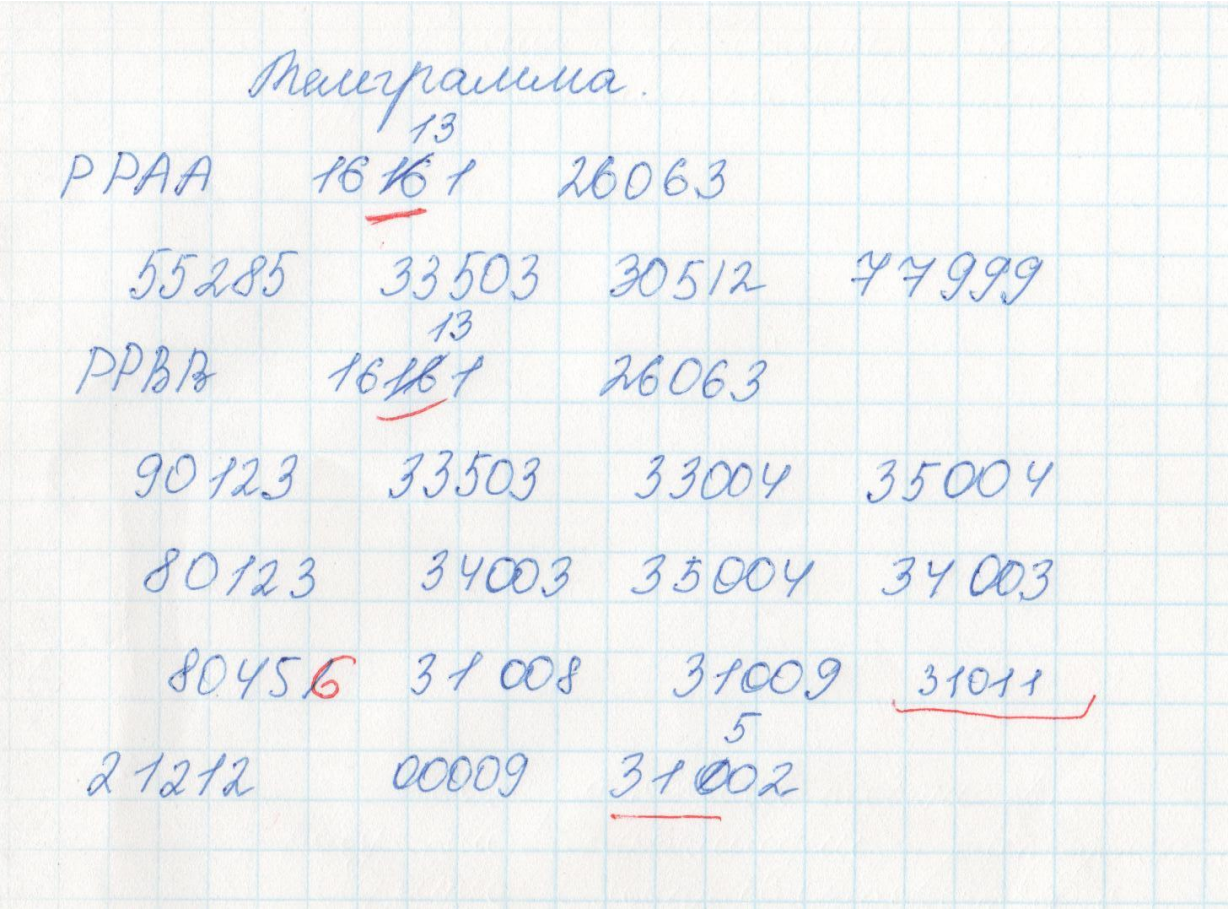


Пример таблицы особых точек

Особые точки

признак	H, м	d, °	v м/с
v, d	105	315	2
d	260	341	3
d	360	330	3
d	460	345	2
d	560	328	3
d	1160	9	4
d	1360	359	3
d	1760	310	3
d	1960	318	8
d	2160	297	7
v, d	3360	300	20

Пример телеграммы



Телеграмма.

13

РРАА 16 ~~16~~ 1 26063

55285 33503 30512 77999

13

РРВВ 16 ~~16~~ 1 26063

90123 33503 33004 35004

80123 34003 35004 34003

80456 31008 31009 31011

5

21212 00009 31002

Пример телеграммы для радиозонда

PPAA	26093	26063	55385	35508
	02006	03009		
	55340	02508	04004	08504
	55320	11026	21020	24007
	77999			
PPBB	26093	26063	90123	00605
	01507	36008	80/12	11003
	30507	00308		
	80345	35508	34507	01006
	80678	02006	00507	00306
	809//	00508		
	81012	01508	03009	03008
	81345	02507	02508	04006
	81678	05004	04006	04004
	819//	10003		
	82012	12503	08004	07002
	82345	12005	11026	14027
	82678	18027	21027	23016
	829//	24510		

83012	25007	26507	24007
21212	00016	11003	