

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

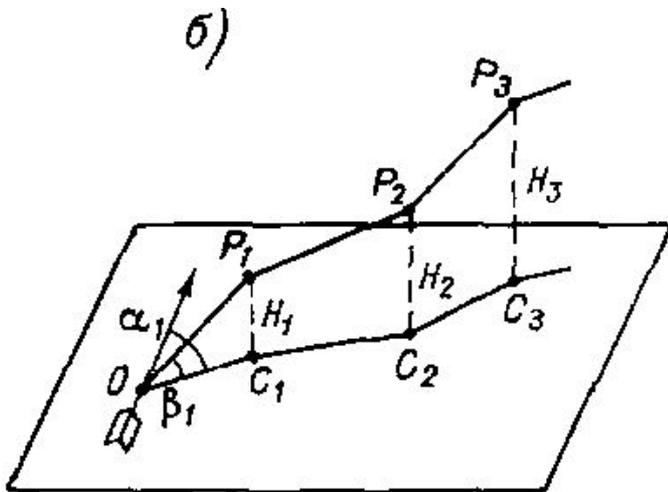
Дискретность обрабатываемых моментов времени:

- 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.



$$\bar{H}_1 = \frac{H_1}{2} = \frac{P_1 C_1}{2} = \frac{w \Delta t_1}{2}$$

$$\bar{H}_2 = \frac{H_2 - H_1}{2} = \frac{P_2 C_2 - P_1 C_1}{2} = \frac{w \Delta t_2}{2}$$

$$\bar{H}_2 \neq \frac{H_2}{2} !$$

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 поверхности в разные моменты времени.

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

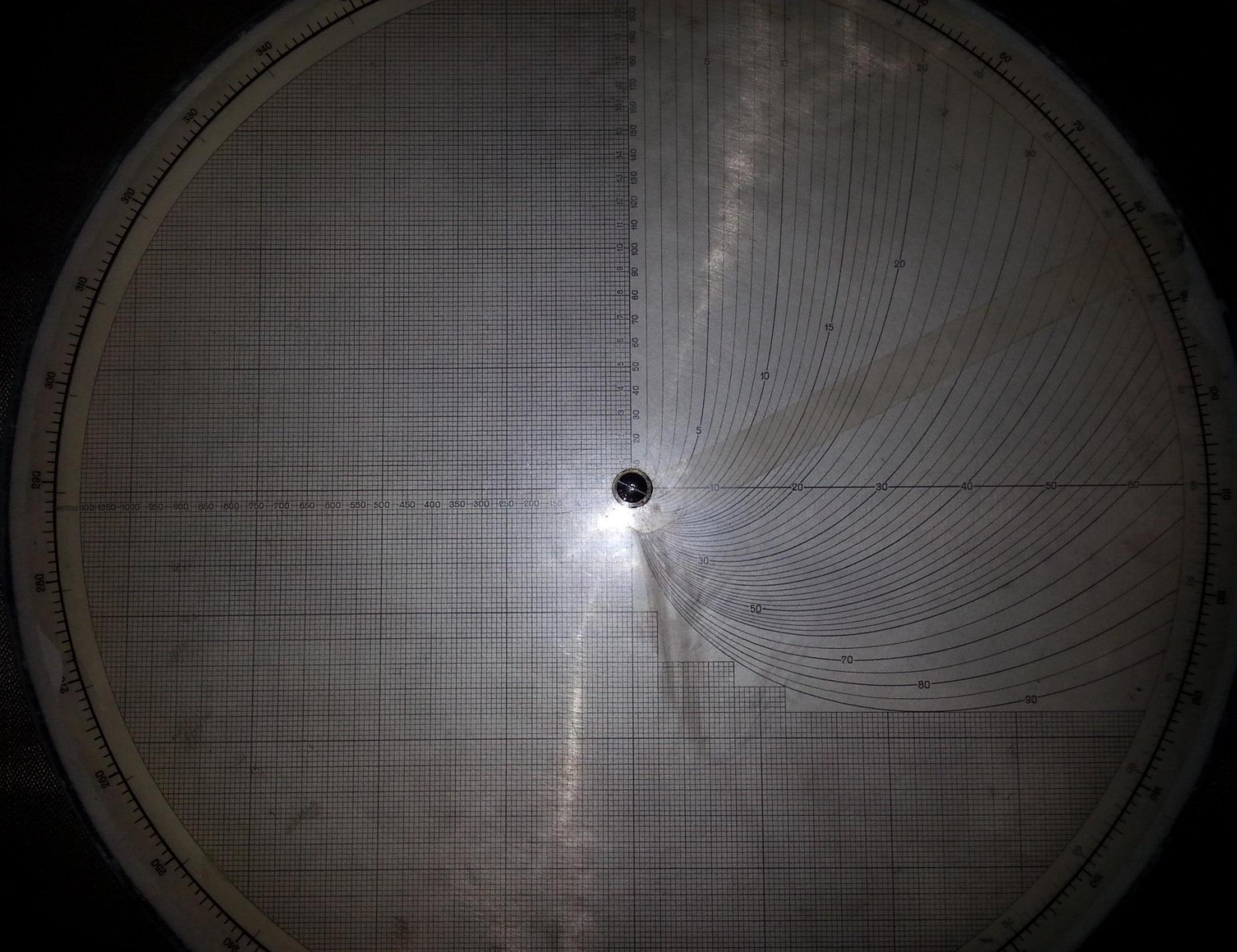
Для графического определения скорости и направления ветра на высотах по результатам шаропилотных наблюдений используется **круг Молчанова** (синоним: аэрологический планшет А-30).

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).



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

14

12

10

9

8

7

6

5

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 шарпилотных наблюдений

$$H_i = W t_i$$

$$x_i = H_i \operatorname{ctg} \beta_i \cos \alpha_i$$

$$y_i = H_i \operatorname{ctg} \beta_i \sin \alpha_i$$

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

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

$$180^\circ + a_{i,i-1} \quad \text{если } \Delta x_{i,i-1} > 0, \Delta y_{i,i-1} > 0$$

$$d_i = \begin{matrix} a_{i,i-1} & \text{если } \Delta x_{i,i-1} < 0, \Delta y_{i,i-1} < 0 \\ 360^\circ - a_{i,i-1} & \text{если } \Delta x_{i,i-1} < 0, \Delta y_{i,i-1} > 0 \end{matrix}$$

$$180^\circ - a_{i,i-1} \quad \text{если } \Delta x_{i,i-1} > 0, \Delta y_{i,i-1} < 0$$

Пример заполнения таблицы при аналитическом расчете скорости и направления ветра

<i>T, мин</i>	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	<i>H, м</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>V, м/с</i>	Δx	Δy	<i>a</i>	<i>d, ^\circ</i>
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

$$H_i = W t_i \quad W=200 \text{ м/мин}; \quad H_1=200 \cdot 0.5 = 100\text{м}; \quad H_2=200 \cdot 1.0 = 200\text{м};$$

$$x_i = H_i \operatorname{ctg} \beta_i \cos \alpha_i$$

$$X_1 = 100 \operatorname{ctg} (47.7) \cos (159.5) = 100 \cdot 0.91 \cdot (-0.937) = -85.3$$

$$X_2 = 200 \operatorname{ctg} (47.2) \cos (155.5) = 200 \cdot 0.926 \cdot (-0.91) = -168.5$$

$$y_i = H_i \operatorname{ctg} \beta_i \sin \alpha_i$$

$$Y_1 = 100 \operatorname{ctg} (47.7) \sin (159.5) = 100 \cdot 0.91 \cdot 0.35 = 31.9$$

$$Y_2 = 200 \operatorname{ctg} (47.2) \sin (155.5) = 200 \cdot 0.926 \cdot 0.41 = 75.9$$

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

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

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

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

$$A_{1,0} = \operatorname{arc\,tg} | [(31.9 - 0) / (-85.3 - 0)] = 20.5; \quad \Delta x < 0; \quad \Delta y > 0$$

$$A_{2,1} = \operatorname{arc\,tg} | [(75.9 - 31.9) / (-168.5 + 85.3)] = 27.9; \quad \Delta x < 0; \quad \Delta y > 0$$

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

$$D_{1,0} = 360 - 20.5 = 239.5$$

$$D_{2,1} = 360 - 27.9 = 232.1$$

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_j .

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 ~ 2 м/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 направления ветра 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;

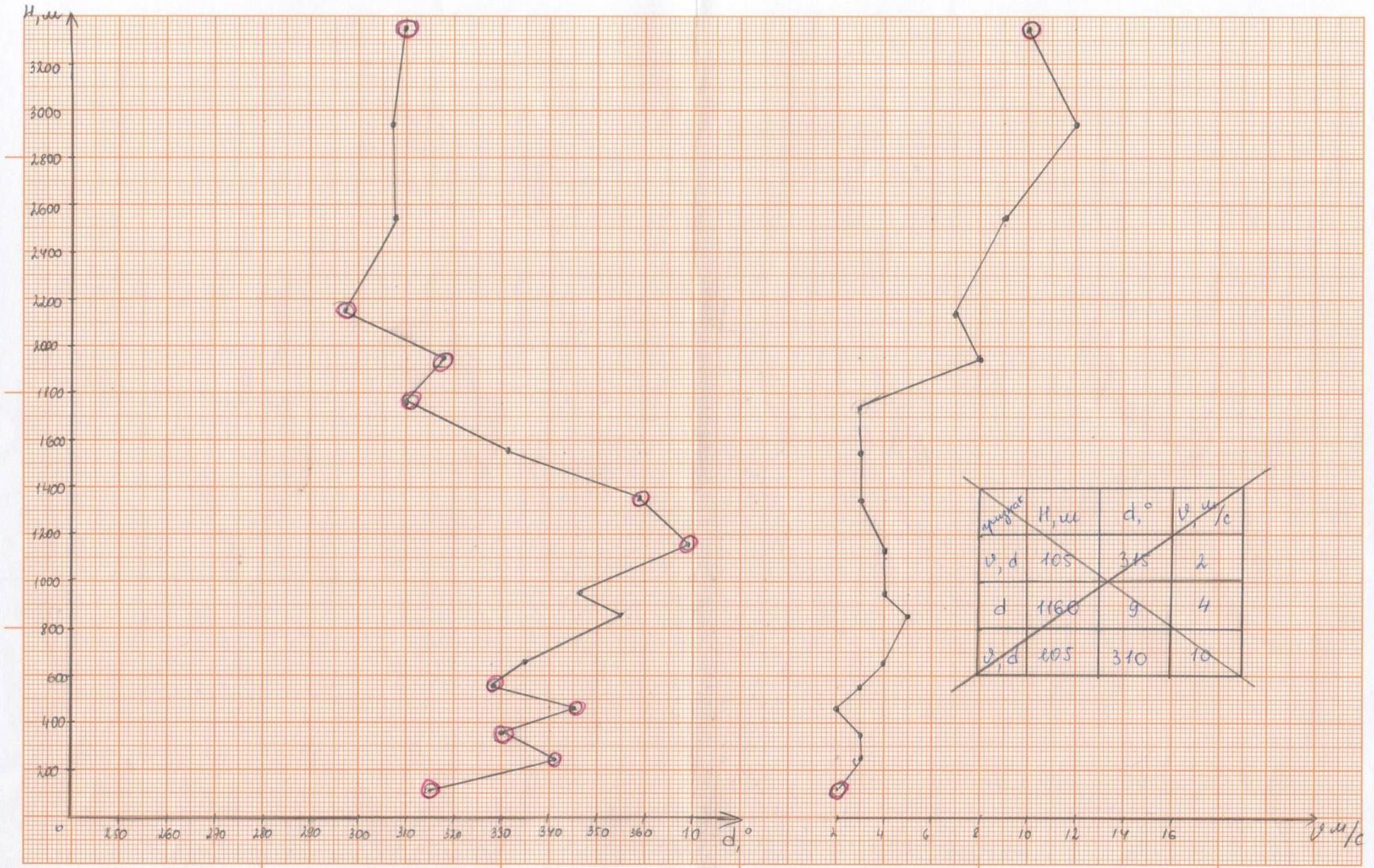
линейно интерполированное значение направления ветра отличается от действительного более чем на 10^0 .

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 аналитических расчетов

T_i мин	d_i корд.	β_i верт.м	n_i ш	x	y	v_i , м/с	Δy	Δx	a	d_i^0
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	273,8	1	40,4	-223,5	10,3	40
6	169,2	46,0	1200	-1138,3	277,1	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	$H, \text{м}$	$d, ^\circ$	$\varphi \text{ ш/с}$
ϑ, d	005	375	2
d	200	341	3
d	350	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
ϑ, d	3360	300	10

Пример телеграммы

Телеграмма.

¹³
P P A A 16 16 1 26063

55285 33503 30512 44999

¹³
P P B B 16 16 1 26063

90123 33503 33004 35004

80123 34003 35004 34003

80456 31008 31009 31011

21212 00009 ⁵
31002

Пример телеграммы для радиозонда

PPAA	26093	26063	55385	35508
	02006	03009		
	55340	02508	04004	08504
	55320	11026	21020	24007
	74999			
PPBB	26093	26063	90123	00605
	01507	36008	80/12	11003
	30507	00306		
	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	