

Министерство образования и науки Российской Федерации

---

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Российский государственный гидрометеорологический университет

О. Г. Богаткин

## **ПРАКТИКУМ ПО АВИАЦИОННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ**

*Допущено Учебно-методическим объединением по образованию  
в области гидрометеорологии в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности «Метеорология»  
направления подготовки дипломированных специалистов  
«Гидрометеорология»*



Санкт-Петербург  
2005

УДК 551.5:629.130(075.8)

**О.Г. Богаткин.** Практикум по авиационной метеорологии. – СПб., изд. РГГМУ, 2005 – 130 с.

В Практикум включены лабораторные работы по всем разделам авиационной метеорологии. Наибольшее внимание уделено приобретению студентами практических навыков метеорологического обеспечения авиации. В каждой лабораторной работе содержатся краткие сведения по теории, сформулированы задачи работы и даны методические указания по ее выполнению.

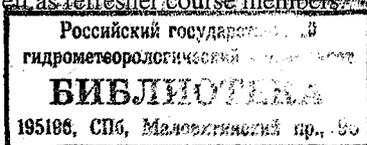
Учебное пособие предназначено для студентов-метеорологов, а также для слушателей факультетов повышения квалификации.

*Рецензенты:* А.Ю. Белоусова, канд. геогр. наук, проф.  
(Академия гражданской авиации;  
А.Б. Майзельс (АМЦ «Пулково»)

*Ответственный редактор:* Г.Г. Тараканов, проф.

The “Practical Guide to Aviation Meteorology” by O.G. Bogatkin contains laboratory works embracing all sections of the discipline provided for in the curriculum for meteorology students at hydrometeorological institutes and in geographical departments of state universities. Pre-eminent attention is given to the problems solution which enables students to acquire practical skills in the field of meteorological support of aviation. Each laboratory work comprises brief information summarizing the pertinent theoretical knowledge, assignments for students, including practical hints aimed at helping them to successfully accomplish the work.

The present Guide is designed to be used as a textbook for full-time and correspondence students, as well as refresher course members.



ISBN-5-8613-164-9

© О. Г. Богаткин, 2005

© Российский государственный гидрометеорологический университет  
(РГГМУ), 2005

УДК 551.5:629.130(075.8)

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Практикум подготовлен в соответствии с программой дисциплины «Авиационная метеорология». Он содержит 15 лабораторных работ, сгруппированных в две части: часть 1 «Влияние параметров атмосферы на параметры полета воздушного судна» (работы 1-11) и часть 2 «Метеорологическое обеспечение гражданской авиации» (работы 12-15).

Каждая лабораторная работа включает описание, краткие методические указания по ее выполнению и рекомендованную литературу. Все лабораторные работы выполняются традиционным способом, однако ряд работ может быть выполнен с помощью ЭВМ.

Часть лабораторных работ (работы 2, 5-11, 13) могут быть использованы при проведении занятий со слушателями факультета повышения квалификации.

Цель практикума – освоение разделов авиационной метеорологии и приобретение практических навыков метеорологического обеспечения полетов воздушных судов.

Практикум подготовлен О.Г. Богаткиным, за исключением лабораторных работ 8, 9 и 11, которые подготовлены им совместно с Н.Е. Сорокиной. Автор благодарен ответственному редактору, рецензентам, а также другим преподавателям и сотрудникам кафедры метеорологических прогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета за ряд ценных замечаний, способствовавших улучшению рукописи.

# 1. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ НА ПАРАМЕТРЫ ПОЛЕТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Лабораторная работа 1

## АНАЛИЗ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ ОТ СТАНДАРТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Цель работы: изучить параметры стандартной атмосферы (СА); приобрести навыки в построении кривой стратификации атмосферы и в использовании ее для оценки отклонений температуры и высоты изобарических поверхностей от стандартных значений.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЛЕТОВ

Полеты воздушных судов (ВС), естественно, происходят в атмосфере, и поэтому в большой степени зависят от ее строения и характеристик.

При выполнении аэродинамических расчетов для различных условий атмосферы и сравнении результатов испытаний ВС во всем мире пользуются условной осредненной стандартной атмосферой (СА).

Согласно существующему сейчас ГОСТу стандартная атмосфера характеризуется следующими параметрами:

- температура воздуха на уровне моря  $t_0 = 15^\circ\text{C} = 288\text{ K}$ ;
  - вертикальный градиент температуры воздуха  $\gamma$ :  
до высоты 11 км  $\gamma = 6,5^\circ\text{C}/\text{км}$ ;  
в слое 11 – 20 км  $\gamma = 0$ ;
  - атмосферное давление у Земли на уровне моря  
 $p_0 = 1013,25\text{ гПа} = 760\text{ мм рт.ст.}$
  - изменение давления с высотой происходит до уровня 11 км по закону политропной атмосферы, а в слое 11-20 км – по закону изотермической атмосферы (смотри учебник по общей метеорологии);
  - относительная влажность воздуха на всех высотах  $R = 0\%$ ;
  - ветер на всех высотах – *штиль*;
  - скорость звука  $a = 20,05\sqrt{T}$ ,
- где  $a$  – скорость звука, м/с,  $T$  – температура воздуха, К.

Выше перечислены, естественно, далеко не все параметры стандартной атмосферы. Все подробности можно найти в соответствующем ГОСТе, который дает распределение характеристик стандартной атмосферы до таких высот, где авиация еще долго летать не будет (более 100 км). Указанные параметры являются наиболее важными с точки зрения оценки влияния параметров атмосферы на параметры полета воздушных судов.

Стандартная атмосфера чаще всего используется для решения задач, связанных с переходом от фактически наблюдающихся атмосферных условий к стандартным, и задач, связанных с учетом отклонения фактических условий от стандартных для получения реальных значений интересующих параметров.

Задачи первого вида называются приведением результатов летных испытаний воздушных судов к стандартным условиям. Задачи второго вида связаны с учетом влияния метеорологических параметров на полет воздушного судна и на показания некоторых аэронавигационных приборов.

### *Контрольные вопросы*

1. Чему равна температура воздуха у земли в стандартных условиях?
2. Как изменяется температура воздуха с высотой в стандартной атмосфере?
3. Какая температура воздуха в стандартной атмосфере должна быть на высоте 10000 м?
4. Чему равно атмосферное давление у земли в стандартной атмосфере?
5. Чему равна влажность воздуха на высоте 3 км в стандартной атмосфере?
6. Чему равна скорость ветра в стандартной атмосфере на высоте 11 км?
7. Определите температуру воздуха в нижней стратосфере в стандартных условиях.

### *Материалы для работы*

1. Бланк аэрологической диаграммы.
2. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология.- СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.- 352с.
3. Таблицы стандартной атмосферы (ГОСТ 4401-81) М.: Госстандарт, 1981.- 43 с.

### *Порядок выполнения работы*

1. На бланке аэрологической диаграммы построить кривую стратификации для минимальной (арктической) и максимальной (тропической) стандартной атмосферы.
2. С помощью аэрологической диаграммы определить высоту (с точностью до 0,1 км) и температуру (с точностью до 0,1 °С) для основных изобарических поверхностей от 1000 до 100 гПа.
3. На бланке аэрологической диаграммы по данным приложения построить кривые стратификации атмосферы для пунктов, указанных преподавателем. По построенным кривым определить отклонения температуры воздуха и высоты от стандартных значений.

*Методические указания*

1. Кривые стратификации атмосферы для арктической и тропической стандартной атмосферы строятся на бланке аэрологической диаграммы с использованием данных табл.1.1, в которой приведены отклонения температуры максимальной и минимальной стандартной атмосферы СА от «обычной» стандартной атмосферы (ГОСТ 4401-81).

**Таблица 1.1**

**Отклонения температуры воздуха от стандартной для максимальной и минимальной стандартной атмосферы на разных уровнях**

<i>H</i> , км	0	5	7	9	11
<i>T</i> <sub>макс</sub> - <i>T</i> <sub>СА</sub> , °С	19	17	17	17	17
<i>T</i> <sub>мин</sub> - <i>T</i> <sub>СА</sub> , °С	-44	-17	-13	-9	-3

2. С помощью бланка аэрологической диаграммы, используя стандартную шкалу высот и стандартную стратификацию, заполнить табл.1.2.

**Таблица 1.2**

**Температура и высота основных изобарических поверхностей для стандартных условий**

<i>p</i> , гПа	1000	925	850	700	500	400	300	250	200	150	100
<i>T</i> <sub>СА</sub> , °С											
<i>H</i> <sub>СА</sub> , км											

3. На бланке аэрологической диаграммы построить кривые стратификации атмосферы для пунктов, указанных преподавателем. Отклонения температуры и отклонения высот от стандартных значений определить по аэрологической диаграмме по формулам

$$\Delta T = T_{\phi} - T_{CA}, \quad (1.1)$$

$$\Delta H = H_{\phi} - H_{CA}, \quad (1.2)$$

где  $\Delta T$  и  $\Delta H$  – соответственно отклонения температуры и высот от стандартных значений;  $T_{\phi}$  и  $H_{\phi}$  – фактическая температура и высота изобарической поверхности;  $T_{CA}$  и  $H_{CA}$  – температура и высота изобарической поверхности в стандартных условиях.

Результаты расчетов представить в виде таблицы, форма которой указана в табл.1.3.

Таблица 1.3

$p$ , гПа	$H_{ф}$ , км	$T_{ф}$ , °C	$H_{СА}$ , км	$T_{СА}$ , °C	$\Delta H$ , км	$\Delta T$ , °C

*Отчетный материал*

1. Бланк аэрологической диаграммы с нанесенными кривыми стратификации для максимальной и минимальной стандартной атмосферы, а также кривыми стратификации для пунктов, указанных преподавателем.
2. Представленная на отдельном листе табл. 1.2 со значениями температуры и высоты на основных изобарических поверхностях для стандартных условий.
3. Представленная на отдельном листе табл. 1.3 с данными об отклонениях фактических значений температуры и высоты от стандартных.

По сути дела, заполняя табл. 1.3, необходимо из приложения переписать столбцы 1-3, используя аэрологическую диаграмму, записать столбцы 4 и 5, а затем рассчитать по приведенным выше формулам значения отклонений, необходимых для заполнения двух последних столбцов.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Данные радиозондирования атмосферы

#### Вариант 1

Москва, 9 ч 9 сентября

<i>p</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °C
990	0,2	10,0
920	0,8	3,7
850	1,4	-1,6
726	2,7	-6,7
537	5,0	-16,5
469	6,0	-20,4
400	7,2	-28,7
307	9,0	-42,4
264	10,1	-49,7
207	11,7	-55,9
166	13,3	-49,5

Воейково, 9 ч 18 ноября

<i>p</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °C
982	0,2	-3,1
888	1,0	-7,2
833	1,5	-10,1
700	2,8	-20,7
597	4,0	-25,2
519	5,0	-26,3
390	7,1	-39,3
300	8,7	-53,9
288	9,0	-55,7
245	10,1	-64,8
200	11,2	-65,0
177	12,0	-63,0
169	12,2	-63,7

#### Вариант 2

Смоленск, 3ч 26 февраля

<i>p</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °C
998	0,2	-6,1
883	1,1	-8,5
850	1,5	-7,9
767	2,2	-12,5
700	3,0	-10,3
603	4,2	-17,4
500	5,5	-26,5
426	6,7	-34,1
405	7,1	-37,9
297	9,0	-54,1
246	10,1	-62,3
222	11,1	-64,7
193	11,6	-62,1
148	13,3	-58,3

Вологда, 3ч 15 января

<i>p</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °C
1002	0,3	-19,5
968	0,4	-8,3
879	1,2	-8,2
851	1,5	-9,9
774	2,2	-13,9
721	2,6	-16,5
703	3,1	-18,3
505	5,5	-34,1
398	6,9	-44,7
304	8,9	-56,9
271	9,8	-60,5
253	10,1	-60,5
214	10,5	-60,5
195	11,4	-59,3

Вариант 3  
Тверь, 3ч 26 февраля

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
1016	0,2	-7,7
853	1,5	-17,3
835	1,7	-15,1
799	2,1	-15,5
756	2,5	-15,7
697	3,1	-18,9
503	5,5	-37,9
398	6,9	-45,7
300	8,8	-55,5
270	9,1	-57,1
257	9,8	-59,9
249	9,9	-59,7
195	11,3	-56,3

Омск, 3ч 15 апреля

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
937	0,3	14,7
887	1,1	9,8
851	1,5	4,6
798	2,1	0,7
705	3,1	-8,7
501	5,6	-24,3
400	7,2	-36,3
298	9,1	-51,9
250	10,4	-59,1
202	11,6	-66,5
149	13,4	-61,3

Вариант 4  
Ростов-на-Дону, 3ч 26 февраля

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
1014	0,2	-6,3
972	0,4	-9,3
949	0,5	-4,1
893	1,1	-8,1
877	1,3	-5,9
851	1,5	-6,1
700	3,0	13,7
620	3,9	-21,9
584	4,4	-22,4
505	5,4	-28,3
397	7,0	-37,4
299	8,9	-53,2
249	10,1	-59,9
195	11,5	-59,9
147	13,3	-58,7

Самара, 3ч 15 марта

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
1003	0,1	-7,3
985	0,3	-5,7
907	0,9	-5,3
851	1,5	-7,1
788	2,2	-9,3
705	3,1	-13,5
616	4,1	-17,9
535	5,2	-24,3
500	5,5	-27,5
462	6,2	-31,1
403	7,1	-38,9
299	9,0	-52,1
287	9,5	-54,9
247	10,2	-58,9
195	11,6	-59,1

Вариант 5

Новосибирск, 3ч 12 февраля

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °С
999	0,3	-15,9
910	1,2	-13,1
853	1,5	-16,1
702	2,9	-23,5
606	4,1	-28,3
498	5,4	-36,7
426	6,5	-45,5
400	6,9	-48,1
319	8,7	-55,7
295	8,8	-55,7
288	9,5	-55,9
249	9,9	-57,1
206	11,0	-53,4
197	11,2	-54,7

Вариант 6

Тамбов, 3ч 1 февраля

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °С
1000	0,2	-5,3
902	1,1	-10,9
894	1,2	-11,3
853	1,5	-6,1
744	2,5	-8,9
702	3,0	-11,1
641	3,7	-13,7
497	5,5	-25,7
432	6,6	-32,7
399	7,1	-37,1
335	8,6	-48,3
294	9,1	-53,9
249	10,2	-61,5
237	10,7	-63,3
196	11,5	-61,3

Волгоград, 3ч 15 декабря

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °С
1033	0,0	-24,5
1000	0,3	-13,7
993	0,4	-9,3
950	0,5	-4,9
852	1,4	-17,1
827	1,7	-10,5
703	3,1	-17,5
513	5,3	-32,9
501	5,5	-33,5
438	6,6	-40,5
398	7,0	-44,9
303	8,9	-58,3
284	9,5	-60,5
247	10,0	-61,7
201	11,4	-60,5

Орел, 3ч 12 февраля

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °С
1026	0,0	-21,9
1001	0,3	-10,7
923	0,8	-5,1
847	1,5	-7,1
764	2,3	-9,3
695	3,0	-14,5
505	5,5	-29,2
402	7,0	-39,7
300	8,9	-55,5
251	10,1	-62,1
241	10,4	-63,2
198	11,5	-64,3
167	12,6	-59,3
147	13,2	-59,3

Вариант 7

Архангельск, 3ч 15 марта

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
1017	0,0	-12,9
1000	0,3	-8,7
905	1,0	-6,3
850	1,6	-10,5
704	3,0	-17,7
632	3,7	-20,9
551	4,8	-27,1
497	5,5	-31,3
398	7,1	-42,5
302	8,9	-57,7
296	9,2	-58,7
250	10,1	-61,9
239	10,7	-62,5
197	11,5	-60,1

Курск, 3ч 12 февраля

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
1007	0,0	-3,3
1002	0,1	-3,7
897	1,0	-4,3
851	1,4	-6,1
818	1,8	-4,3
755	2,4	-8,3
701	2,9	-9,7
657	3,5	-18,8
642	3,8	-18,5
503	5,5	-23,1
400	7,1	-35,3
300	9,0	-52,5
250	10,2	-61,2
200	11,6	-62,1
150	13,4	-57,7

Вариант 8

Барнаул, 3ч 19 марта

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
1000	0,2	-7,5
967	0,4	-9,5
943	0,6	-4,1
891	1,0	-6,5
874	1,2	-7,3
850	1,5	-7,5
801	2,0	-10,3
755	2,5	-10,7
700	3,1	-13,7
604	4,2	-21,7
500	5,4	-27,3
407	7,0	-38,5
305	8,9	-54,1
251	10,1	-59,2
203	11,5	-58,7

Томск, 3ч 2 апреля

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
996	0,3	-11,5
913	0,9	-7,7
853	1,6	-9,7
803	1,8	-10,1
778	2,7	-11,5
701	3,0	-16,5
625	3,9	-21,1
579	4,5	-25,3
500	5,5	-32,7
396	7,0	-43,9
364	7,7	-48,5
297	8,9	-56,1
249	10,0	-60,5
226	11,1	63,8
195	11,5	-58,5

Вариант 9

Новгород, 3ч 19 марта

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
998	0,3	-7,7
975	0,5	-6,5
947	0,6	-4,1
922	0,7	-5,3
849	1,5	-8,5
795	2,6	-11,4
700	3,0	-16,9
695	3,1	-17,3
582	4,5	-24,9
505	5,5	-33,7
463	6,2	-37,5
397	7,0	-43,9
298	8,9	-57,0
250	10,0	-62,5
207	11,4	-59,9

Якутск, 3ч 2 апреля

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
998	0,2	-10,3
985	0,4	-6,3
884	1,1	-8,5
851	1,5	-9,4
828	2,2	-9,9
781	2,5	-11,4
758	2,8	-11,7
700	3,0	-14,9
618	4,0	-20,5
503	5,4	-30,7
402	7,0	-41,5
300	8,9	-53,7
252	10,1	-57,5
198	11,5	-57,1

Вариант 10

Мурманск, 3ч 19 января

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
1020	0,0	-6,7
999	0,2	-7,9
853	1,5	-8,7
802	1,8	-9,8
699	2,9	-11,5
613	4,1	-20,3
497	5,5	-27,5
442	6,5	-32,1
397	7,0	-39,6
362	7,9	-44,8
295	9,0	-52,1
250	10,0	-58,2
204	11,5	-63,9
151	13,3	-57,7

Калининград, 3ч 20 марта

$p$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C
997	0,2	-7,1
935	0,6	-11,1
920	0,9	-8,5
887	1,2	-8,5
850	1,5	-9,7
831	1,6	-10,3
703	3,0	-13,1
670	3,3	-15,5
648	3,6	-15,5
498	5,5	-27,7
404	7,0	38,8
300	8,9	-54,1
249	10,1	61,1
197	11,5	-60,9
153	13,3	-58,7

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ПОГОДЫ В ЦЕЛЯХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИИ**

**Цель работы:** научиться правильно составлять и обрабатывать аэрологическую диаграмму и уметь ею пользоваться для оценки погодных условий в целях метеорологического обеспечения авиации.

### **НАЗНАЧЕНИЕ И ОПИСАНИЕ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ДИАГРАММ**

Большую помощь специалистам метеорологической службы при анализе синоптических процессов и прогнозе отдельных метеорологических величин и явлений погоды оказывает аэрологическая диаграмма. Она дает наглядное представление о распределении по вертикали температуры воздуха, влажности и ветра. С помощью аэрологической диаграммы можно определить термодинамические характеристики воздушной массы, расслоенность облачности, положение фронтального раздела над пунктом зондирования и др. Аэрологическая диаграмма позволяет также прогнозировать возможность возникновения конвективных явлений, обледенения воздушных судов, максимальную температуру воздуха и другие характеристики.

Все построения на аэрологической диаграмме и расчеты с ее помощью, как правило, не занимают много времени, поэтому они широко используются на практике. В настоящее время применяются три формы аэрологической диаграммы, одна из которых построена в прямоугольной системе координат, а две других – в косоугольной системе координат. Настоящая лабораторная работа предусматривает проведение всех построений и расчетов на бланке аэрологической диаграммы, построенной в прямоугольной системе координат.

Результаты температурно-ветрового зондирования атмосферы различных пунктов, закодированные кодом КН-04, поступают на АМСГ (АМЦ). По этим данным вначале наносятся результаты зондирования атмосферы на бланк аэрологической диаграммы, а затем выполняется их анализ.

### *Контрольные вопросы*

1. Раскодировать данные температурно-ветрового зондирования атмосферы, закодированные кодом КН-04 (данные выдаются преподавателем).
2. Как определяется уровень конденсации и уровень конвекции по аэрологической диаграмме?
3. Как определяется толщина конвективно-неустойчивого слоя (КНС) по аэрологической диаграмме?
4. Как с помощью аэрологической диаграммы определить расслоенность облачности?

5. Как с помощью аэрологической диаграммы определить зоны образования конденсационных облачных следов за самолетами?
6. Как с помощью аэрологической диаграммы определить зоны возможного обледенения воздушных судов?
7. Как с помощью аэрологической диаграммы определить максимальную температуру воздуха?
8. Как с помощью аэрологической диаграммы определить возможность возникновения гроз?
9. Как с помощью аэрологической диаграммы определить высоту нахождения фронтальной зоны над пунктом зондирования?

### *Материалы для работы*

1. Бланк аэрологической диаграммы.
2. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы (вариант задания указывается преподавателем).

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология.- СПб.: Гидрометеиздат, 1992.- 352с.
3. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. – СПб.: Гидрометеиздат, изд. 2-е, 1992. – 272 с.
4. Код КН –04

### *Порядок выполнения работы*

1. Раскодировать данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.
2. Нанести данные температурно-ветрового зондирования на бланк аэрологической диаграммы.
3. Проанализировать данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.
4. Определить с помощью аэрологической диаграммы относительную влажность воздуха на основных изобарических поверхностях, максимальную температуру воздуха, толщину конвективно-неустойчивого слоя (КНС) и возможность возникновения гроз.

### *Методические указания*

1. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы раскодировать с помощью кода КН-04.

Результаты раскодирования представить на отдельном листе в виде таблицы:

$H, \text{ м}$	$p, \text{ гПа}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$	$D, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_d, \text{ }^\circ\text{C}$	$dd, \text{ град}$	$Ff, \text{ м/с}$	$R, \text{ \%}$
1	2	3	4	5	6	7	8
...	...	...	...	...	...	...	...

Температуру точки росы  $T_d$  (графа 5) рассчитать по формуле

$$T_d = T - D. \quad (2.1)$$

Графу 8 таблицы заполнить в конце выполнения задания.

2. По данным о давлении, температуре воздуха и температуре точки росы на бланке аэрологической диаграммы нанести точки, соответствующие условиям основных изобарических поверхностей и особых точек.

*Внимание! Данные особых точек наносить обязательно!*

Для удобства дальнейшего анализа температуру воздуха и температуру точки росы целесообразно наносить на бланк различными символами (рис.2.1).



Рис.2.1. Схема определения уровней конденсации и конвекции.

Приняв за условный нуль на аэрологической диаграмме изотерму  $-70^\circ\text{C}$ , влево от нее нанести точки, соответствующие значениям дефицита температуры точки росы (см. рис.2.5). Например, если на каком-нибудь уровне в атмосфере дефицит температуры точки росы равен  $3^\circ\text{C}$ , то точка на этом же уровне наносится на изотерме  $-73^\circ\text{C}$ .

3. Построить кривую стратификации. Для этого, не пропуская ни одной точки, ломаной линией соединить точки соответствующих значений температуры воздуха. Кривая стратификации проводится красным цветом.

4. Построить кривую температуры точки росы. Для этого так же, как при построении кривой стратификации, необходимо соединить точки соответствующих

значений температуры точки росы. Эта линия проводится зеленым цветом. Аналогично проводится (также зеленым цветом) кривая дефицита точки росы.

5. Построить кривую состояния. Эта линия показывает адиабатические изменения температуры вертикально смещающейся частицы (изолированного объема) воздуха. Изменение температуры воздуха до уровня конденсации происходит по сухоадиабатическому закону. А выше уровня конденсации — по влажноадиабатическому закону.

При построении кривой состояния за начальный уровень принимается нижняя точка на кривой стратификации (уровень Земли) или точка, соответствующая верхней границе приземной инверсии или изотермии на кривой стратификации. Кривая состояния проводится черным цветом.

Уровень конденсации определяется как высота, на которой пересекаются сухая адиабата, проведенная от значения температуры на начальном уровне, и изограмма, проведенная от того же начального уровня (нижняя точка или верхняя граница приземной инверсии или изотермии), проходящая через значение температуры точки росы.

6. Надписать высоты основных изобарических поверхностей. Значения высот надписываются на диаграмме черным цветом в километрах с десятками и сотыми долями против соответствующего уровня и правее кривой стратификации.

7. Данные о распределении ветра с высотой нанести в крайнем левом столбце аэрологической диаграммы на всех уровнях, где есть сведения о ветре. Они обозначаются стрелкой с оперением, и черным цветом надписывается направление ветра и скорость ветра в км/ч (рис.2.2).

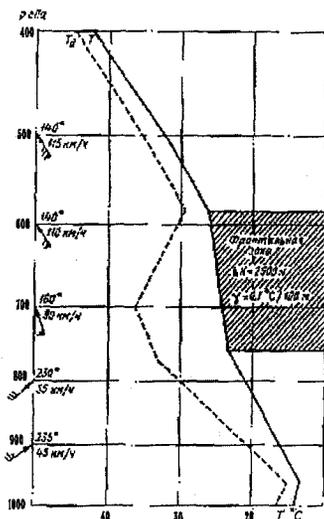


Рис.2.2. Схема нанесения данных о ветре и определение фронтальной зоны.

8. Отметить уровни, на которых находятся изотермы 0, -10 и -20°C. На высотах с соответствующими значениями температуры воздуха вправо от кривой стратификации проводятся красным цветом выносные линии и надписываются значения температуры.

9. Выделить зоны с положительной и отрицательной энергией неустойчивости (рис.2.3). Если кривая состояния находится правее кривой стратификации, то в этом слое энергия неустойчивости положительна. Образованная этими кривыми площадь закрашивается красным цветом. В тех случаях, когда кривая состояния располагается левее кривой стратификации, энергия неустойчивости отрицательна. Площадь между этими линиями закрашивается синим цветом.

10. Выделить зоны инверсии и изотермии. От верхней и нижней границ всех зон (до тропопаузы) вправо от кривой стратификации черным цветом провести выносные линии; слои с инверсией или изотермией выделить желтым цветом и внутри каждой зоны написать толщину зоны  $\Delta H$  (м) и перепад температур  $\Delta T$  (°C)

9.2.1.2.6

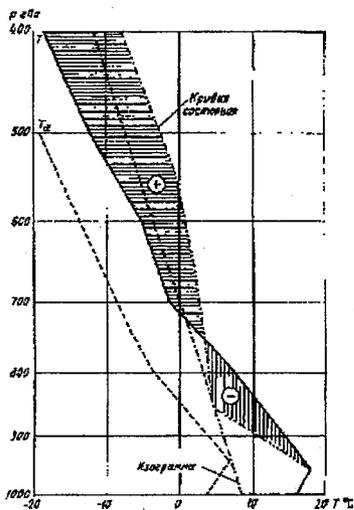


Рис.2.3. Определение положительной и отрицательной энергии неустойчивости.

11. По данным зондирования атмосферы выделить зону тропопаузы. На уровне тропопаузы (или обеих тропопауз) коричневым цветом провести волнистую линию, выше которой пишется слово «Тропопауза» и значение температуры на ее уровне.

12. Выделить зоны облачности (см. рис.2.4, б). Облачные слои и безоблачные прослойки определяются с помощью аэрологической диаграммы следующим образом. Данные дефицита температуры точки росы на различных уровнях сравниваются со значениями, приведенными в табл.2.1, или с линиями А и В на рис.2.4, а. На тех уровнях, где реальный дефицит точки росы меньше или равен значениям, приведенным в графе 2 табл.2.

(линия А на рис.2.4 а), следует указать в Российской государственной гидрометеорологический университет  
**БИБЛИОТЕКА**  
 195106, СПб, Малый Копенгагский пр., 88

зывать облачность, а на уровнях, где дефицит больше или равен значениям, приведенным в графе 3 табл.2.1 (линия *B* на рис.2.4, *a*), - облачность указывать не следует. Если дефицит точки росы находится между критическими значениями, указанными в графах 2 и 3 табл.2.1, то для выделения облачных слоев необходимо привлекать дополнительные характеристики.

Таблица 2.1

Средние значения дефицита температуры точки росы (°С), при которых наблюдается или отсутствует облачность

$p$ гПа	Облачность		$p$ гПа	Облачность	
	Есть	Нет		Есть	Нет
1	2	3	1	2	3
950	$\leq 1,6$	$\geq 4,5$	600	2,2	8,0
900	1,5	4,5	550	2,4	8,2
850	1,5	5,2	500	2,5	8,2
800	1,7	6,0	400	2,8	8,3
750	1,8	7,0	300	3,2	8,5
700	1,9	7,2	200	4,0	9,0
650	2,0	8,0			

Верхняя и нижняя границы каждого облачного слоя выделяются на кривой дефицитов температуры точки росы волнистой или прямой линией синего цвета. Зоны облачности также заштриховываются синим цветом.

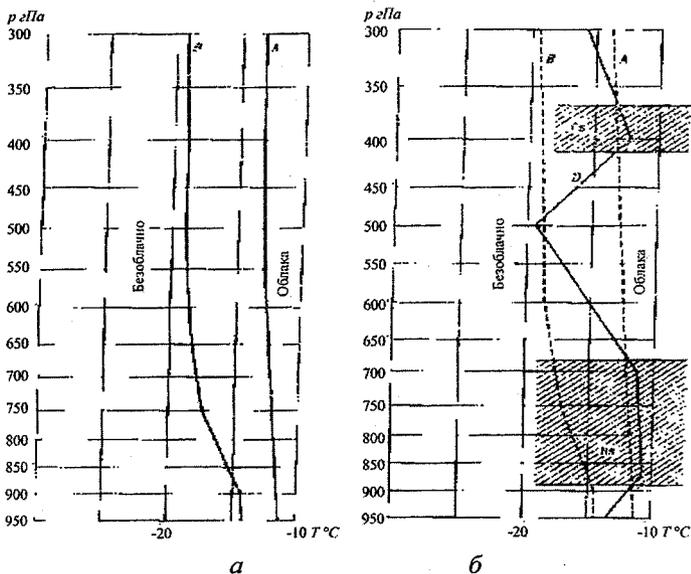


Рис.2.4. Определение облачных слоев по аэрологической диаграмме  
*a* – палетка для определения облачных слоев, *б* – выделение облачных слоев.

13. Определить зоны конденсационных облачных следов за самолетом. Конденсационные слои за самолетом образуются в слое, нижняя граница которого расположена на уровне пересечения кривой стратификации с изограммой 0,15 г/кг, а верхняя граница – на уровне пересечения кривой стратификации с изограммой 0,10 г/кг. Иногда за верхнюю границу зоны принимают уровень тропопаузы. Обе границы (нижнюю и верхнюю) слоя на аэрологической диаграмме выделяются синей линией, а в середине слоя проводится синим цветом спиралеобразная линия.

14. Выделить зоны возможного обледенения воздушных судов. Обледенение отмечается в тех слоях атмосферы, где совместно наблюдается отрицательная температура воздуха и облачность или зоны дождя. На аэрологической диаграмме выделяются слои, где выполняются указанные выше условия. Верхняя и нижняя границы каждого слоя отмечаются выносной линией красного цвета, а в середине слоя ставится знак обледенения.

15. Выделить положение фронта над пунктом зондирования (см. рис.2.2). В тех случаях, когда на кривой стратификации на высотах наблюдается значительное уменьшение вертикального градиента температуры воздуха ( $|\gamma| \leq 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/100\text{м}$ ), эти слои можно отождествить с положением фронтальной зоны. Дополнительным признаком того, что это фронтальная зона, а не инверсия оседания, является постоянство (или увеличение) относительной влажности воздуха. На наличие фронтальной зоны указывает также и резкое изменение направления ветра с высотой: против часовой стрелки при холодном фронте и по часовой стрелке при теплом фронте.

Фронтальная зона закрашивается различными цветными карандашами в зависимости от характера фронта, а внутри этого слоя записывается толщина фронтальной зоны  $\Delta H$  и изменение температуры воздуха  $\Delta T$ . Если температура с высотой во фронтальной зоне продолжает уменьшаться, то вместо  $\Delta T$  записывается вертикальный градиент температуры  $\gamma$ .

16. Определить уровень конвекции (рис.2.1). На аэрологической диаграмме уровень конвекции определяется в точке пересечения кривой состояния с кривой стратификации при переходе от положительных значений энергии неустойчивости к отрицательным. От полученной таким образом точки вправо проводится черным цветом выносная линия, около которой записывается «Уровень конвекции».

17. Определить максимальную температуру воздуха. На кривой стратификации от исходного уровня, высота которого определяется по данным табл.2.2, следует опуститься по сухой адиабате для теплого периода года и по влажной – для холодного периода года до точки, соответствующей давлению у земной поверхности. Определенная таким образом точка покажет значение максимальной температуры воздуха  $T_{\text{max}}$  при безоблачном небе (рис.2.5).

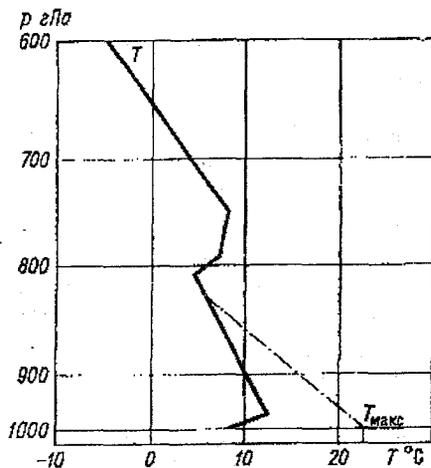


Рис.2.5. Схема прогноза максимальной температуры воздуха.

При наличии облачности максимальная температура рассчитывается по формуле

$$T_{\text{макс. обл.}} = T_0 + m \Delta T, \quad (2.2)$$

где  $\Delta T = T_{\text{макс.}} - T_0$ ;  $T_0$  – температура у земной поверхности в срок зондирования;  $m$  – коэффициент, учитывающий прогностические значения количества и высоты облаков (определяется по графику, представленному на рис.2.6).

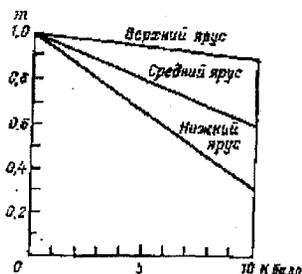


Рис.2.6. График для учета количества облачности при прогнозе максимальной температуры.

Таблица 2.2

**Значения высоты исходного уровня (км) при определении  
максимальной температуры воздуха**

Месяц	В начале месяца	В конце месяца	Месяц	В начале месяца	В конце месяца
Январь	0,4	0,4	Июль	2,5	2,0
Февраль	0,4	0,4	Август	2,0	1,5
Март	0,7	1,0	Сентябрь	1,5	1,0
Апрель	1,0	1,5	Октябрь	1,0	0,7
Май	1,5	2,0	Ноябрь	0,4	0,4
Июнь	2,0	2,5	Декабрь	0,4	0,4

Использование графиков и таблицы дополнительных пояснений не требует.

18. Определить относительную влажность воздуха на всех основных изобарических поверхностях. Для этого следует воспользоваться номограммой, помещенной в правом верхнем углу аэрологической диаграммы. По горизонтальной оси номограммы отложены значения дефицитов точки росы, а наклонные линии соответствуют различной температуре воздуха. По этим входным данным следует на вертикальной оси отсчитать значения относительной влажности. Результаты расчета нужно записать в графу 8 таблицы с исходными данными.

19. Определить толщину конвективно-неустойчивого слоя (КНС). Для этого по аэрологической диаграмме от нулевого уровня из точки, температура которой соответствует спрогнозированной максимальной температуре воздуха, необходимо подняться по сухой адиабате до пересечения с кривой стратификации, а затем опуститься по изограмме до пересечения с кривой температуры точки росы. Уровень, на котором находится эта точка, является верхней границей КНС. За нижнюю границу КНС принимается или земная поверхность, или верхняя граница приземного инверсионного слоя (если он есть). Толщина КНС определяется в гектопаскалях. При определении КНС все построения производить черным цветом, а КНС заштриховать.

20. Определить возможность возникновения гроз. В тех случаях, когда разница высот уровня конденсации и уровня конвекции превышает 4500 м, по району следует ожидать грозы, а грозу в пункте необходимо прогнозировать каким-нибудь другим методом.

21. Определить максимальную скорость ветра у земли при грозах. Для этого следует рассчитать для уровня 600 гПа разность температур  $\Delta T$  на кривой стратификации и влажной адиабате, проведенной от значения максимальной температуры у земли. Максимальная скорость ветра (м/с) численно равна  $V = 2 \Delta T$ .

22. Определить температуру туманообразования (рис.2.7). Для возникновения тумана необходимо, чтобы температура воздуха понизилась до температуры точки росы, а затем уменьшилась еще на некоторое значение. Это до-

полнительное понижение температуры необходимо для конденсации водяного пара, обуславливающего возникновение тумана. Количество сконденсированной влаги  $\Delta q$  (г/кг), необходимое для образования тумана, зависит от температуры точки росы и определяется по данным табл.2.3.

Таблица 2.3

Количество сконденсированной влаги  $\Delta q$ , обуславливающее возникновение тумана при различных значениях температуры точки росы

$T_d, ^\circ\text{C}$	-20...-10	-10...0	0...10	> 10
$\Delta q, \text{г/кг}$	0,1 - 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8

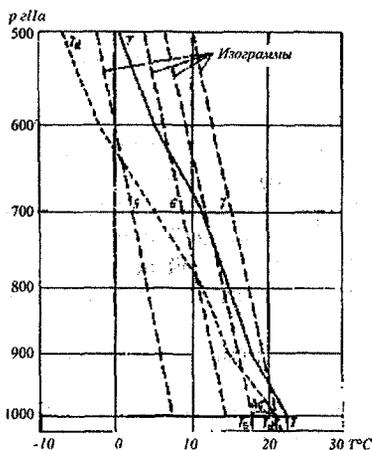


Рис.2.7. Схема определения температуры туманообразования.

Для определения температуры туманообразования необходимо от изограммы, проходящей через значение температуры точки росы у земной поверхности, отступить влево на величину  $\Delta q$ , найденную по табл.2.3, и около этой изограммы отсчитать температуру туманообразования.

#### Отчетный материал

1. Обработанная в соответствии с методическими указаниями аэрологическая диаграмма.
2. Лист с раскодированными данными температурно-ветрового зондирования атмосферы.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Данные зондирования атмосферы за 00 ч (04 мск) 27 июля 2003 г.

### *Вариант 1*

ТТАА 27001 26063 99018 20030 24505 00162 20030 24010 92730 15821  
24012 85542 13219 23018 70132 01017 20025 50582 11723 19027 40770  
21520 19029 30958 33956 19032 25094 43157 18535 20230 53158 18043  
15450 55958 18520 10670 53558 19014 88180 58158 18541 77190 18046

ТТВВ 2700/ 26063 00018 20030 11970 20630 22950 19424 33900 16818  
44881 16818 55750 05423 66640 00619 77621 00120 21212 00018 24505  
11940 23510 22815 23020 33780 21021 44740 19522

### *Вариант 2*

ТТАА 27001 27612 99005 21226 27003 00047 22428 27505 92710 16020  
28008 85531 14614 28016 70996 03213 28028 50561 10927 28033 40741  
22724 29036 30939 37956 29042 25997 44958 29051 20211 55158 28539  
15415 56960 28024 10625 52160 28016 88170 58160 28529 77230 29053

ТТВВ 2700/ 27612 00005 21226 11960 22428 22900 18218 33855 14814  
44750 07814 55650 02812 21212 00005 27003 11920 28013 22805 28019  
33625 28030

### *Вариант 3*

ТТАА 27001 28440 99011 19820 25004 00092 20420 25006 92725 15419  
25008 85530 13015 25512 70063 01114 25527 50569 10927 26030 40737  
22156 26036 30929 34756 26041 25001 44358 26043 20206 54360 26528  
15419 54560 26519 10643 54560 26512 88180 55160 26522 77240 25545

ТТВВ 2700/ 28440 00011 19820 11965 21220 22930 18815 33843 12614  
44605 02516 21212 00011 25004 11950 25010 22900 25010 33640 26028  
44420 26034

### *Вариант 4*

ТТАА 27001 33345 99014 24640 16002 00113 24640 16003 92718 18830  
16005 85519 16414 17007 70989 02414 17016 50543 09118 17025 40729  
21357 17528 30914 35558 17532 25010 43560 18044 20201 53960 18020  
15369 55560 18017 10634 55560 18011 88190 55760 18019 77240 18046

ТТВВ 2700/ 33345 00014 24640 11970 25240 22680 01414 33640 01014  
44530 06718 21212 00014 16002 11945 16005 22900 17005 33800 17012  
44750 17014

*Вариант 5*

ТТАА 27001 22820 99014 17222 24505 00119 17820 24009 92714 12220  
24010 85536 12420 23016 70125 00150 19023 50577 13123 19025 40761  
22120 19027 30952 34156 19030 25072 44156 18533 20209 53958 18041  
15433 56158 18518 10652 54358 19012 88180 56958 18539 77190 18043

ТТВВ 2700/ 22820 00014 17222 11968 18420 22953 16420 33895 14016  
44877 14016 55740 03820 66632 01526 77614 03126 21212 00014 24505  
11936 23508 22817 23018 33775 21019 44738 19520

*Вариант 6*

27001 26038 99019 20228 26004 00154 20626 26506 92734 15424 27007  
85537 13617 26508 70105 01120 35017 50561 12750 29028 40753 22120  
27036 30949 36156 27042 25034 44560 27012 20217 54160 28016 15390  
53760 28009 10625 53158 28009 88210 54960 28017 77280 27046

ТТВВ 2700/ 26038 00019 20228 11975 21026 22915 17822 33690 02120  
44637 02120 21212 00019 26004 11860 26507 22750 27010 33600 34022  
44530 30025

*Вариант 7*

27001 22115 99995 09827 20003 92695 10015 21010 85534 10414 21008  
70967 02316 21018 59548 14946 21023 40744 22350 21030 30943 36356  
21033 25969 45560 21041 20212 55560 21020 15396 55958 21015 10619  
55360 21011 88180 56360 21018 77210 21043

ТТВВ 2700/ 22115 00995 09827 11980 09827 22910 12014 33800 05812  
44745 00214 55610 09316 66575 09716 21212 00995 20003 11810 21012  
22750 21014 33615 21020

*Вариант 8*

ТТАА 27001 26850 99998 13618 26004 92698 12018 26006 85468 13216  
26013 70963 01114 26021 50547 16125 27025 40705 23950 27033 30896  
38156 27038 25001 44957 27026 20150 53158 28014 15330 51158 29010  
10577 50960 29008 88190 54358 28013 77320 27042

ТТВВ 2700/ 26850 00998 13618 11965 13618 22920 16216 33680 02914  
44630 06113 21212 00998 26004 11950 26007 22890 26008 33620 26023  
44430 27030

*Вариант 9*

ТТАА 27001 28698 99010 12426 15004 00091 12426 16007 92713 08818  
17009 85513 06615 18015 70000 05115 18024 50555 17149 20030 40751

29760 21035 30918 40160 21042 25074 47560 21047 20160 55960 21031  
15343 51760 21024 10605 50960 21013 88200 55960 21031 77245 21048

ТТВВ 2700/ 28698 00010 12426 11980 12426 22920 12617 33655 05115  
44637 06314 21212 00010 15004 11900 17010 22880 18012 33760 19020  
44670 26026

*Вариант 10*

27001 29634 99007 21020 17003 00064 21020 17005 92723 17222 17007  
85504 12216 18011 70995 01914 18519 50541 14157 19025 40738 22321  
19032 30904 34760 19043 25019 44560 19026 20207 54960 19017 15300  
52560 19514 1-611 51760 20005 88210 55360 19019 77280 19045

ТТВВ 2700/ 29634 00007 21020 11970 21820 22900 16616 33684 03114  
44640 03914 21212 00007 17003 11950 18009 22890 18010 33810 18512  
44645 19022

## Лабораторная работа 3

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПОЛЕТА ПО ТРАССЕ И РАСХОД ТОПЛИВА

**Цель работы:** изучить и оценить влияние температуры воздуха на эшелоне полета на продолжительность полета и расход топлива.

#### ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПОЛЕТА И РАСХОД ТОПЛИВА

*Дальность полета* – это расстояние, которое может пролететь воздушное судно в одном направлении при определенном запасе топлива. Она складывается из участков набора высоты, горизонтального полета и снижения. Участок горизонтального полета составляет примерно 85% всего расстояния для самолетов средней дальности и 95% для самолетов большой дальности. Для решения наших метеорологических задач будем условно считать, что полет по всей трассе происходит горизонтально.

Дальность и продолжительность полета при запасе топлива  $G_T$  определяется по известным километровому расходу топлива  $c_k$  и часовому расходу топлива  $c_v$ . Километровый расход топлива – это расход топлива в килограммах, необходимый для того, чтобы самолет пролетел расстояние в 1 км, а часовой расход топлива – это количество топлива, которое самолет расходует за один час полета. Обычно летный состав при проведении инженерно-штурманских расчетов пользуется часовым расходом топлива.

Зависимость часового расхода топлива от атмосферных условий можно выразить соотношением

$$c_v = c_{vCA} \sqrt{\frac{T}{T_{CA}}}, \quad (3.1)$$

где  $c_v$  и  $c_{vCA}$  – часовой расход топлива в реальных условиях и в стандартной атмосфере соответственно, кг/ч;  $T$  и  $T_{CA}$  – фактическая и стандартная температура воздуха соответственно на эшелоне полета.

#### Контрольные вопросы

1. От чего зависят дальность и продолжительность полета?
2. Как влияет отклонение температуры воздуха от стандартной на часовой расход топлива?

#### Материалы для работы

1. Авиационная карта погоды (АКП).
2. Исходные данные о маршруте полета и температуре воздуха на эшелоне.

### Рекомендуемая литература

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГТМУ, 2005
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология.- СПб.: Гидрометеиздат, 1992.- 352с.
3. Таблицы стандартной атмосферы (ГОСТ 4401-81) М.: Госстандарт, 1981.- 43 с.

### Порядок выполнения работы

1. Для заданного типа самолета, числа  $M$  и эшелона полета определить скорость полета в стандартных условиях.
2. Рассчитать фактическую скорость полета самолета на эшелоне при отклонениях температуры воздуха от стандартной на  $\pm 5, 10, 15, \text{ и } 20^\circ\text{C}$ .
3. Определить фактический часовой расход топлива при отклонениях температуры воздуха от стандартной на  $\pm 5, 10, 15, \text{ и } 20^\circ\text{C}$  (данные о часовом расходе топлива в стандартных условиях для различных типов самолетов приведены в приложении 3.1).
4. Для трассы на карте АКП или варианта приложения, указанного преподавателем (приложение 3.1), рассчитать фактическое время полета по маршруту и фактический расход топлива. Полученные результаты сравнить со стандартными условиями.
5. Проанализировать полученные результаты.

### Методические указания

1. Скорость полета в стандартных условиях для заданного числа  $M$  на выбранном эшелоне полета определить по формуле

$$V_{CA} = Ma, \quad (3.2)$$

где  $a$  – скорость звука, м/с;  $a = 20,05\sqrt{T_{CA}}$ ;  $T_{CA}$  – стандартная температура на эшелоне полета, К.

2. Для определения фактической скорости полета самолета на эшелоне следует воспользоваться формулой

$$V_{\phi} = V_{CA} \sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}, \quad (3.3)$$

где  $V_{\phi}$ ,  $V_{CA}$  – соответственно фактическая скорость полета самолета и скорость полета в стандартных условиях;  $T_{\phi}$ ,  $T_{CA}$  – фактическая температура воздуха и стандартная температура воздуха на эшелоне полета.

3. Фактический часовой расход топлива  $c_{\phi}$  при различных отклонениях температуры воздуха от стандартной определить по формуле (3.1).

4. Результаты расчетов для пп. 2 и 3 записать в табл. 3.1, а затем данные расчетов изобразить графически в тетради (на отдельном листе) в удобном для работы масштабе. При построении графика по горизонтальной оси откладывать значения  $\Delta T$ , а по вертикальной – значения фактической скорости полета и фактического часового расхода топлива.

**Таблица 3.1**

$T_{CA} =$        $V_{CA} =$        $c_{ч. CA} =$       (условия задаются преподавателем)

$\Delta T$	$T_{\phi}$	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$	$V_{\phi}$	$c_{ч}$
-20°C				
-15				
-10				
-5				
0				
5				
10				
15				
20				

5. Если маршрут полета задается на АКП, то весь маршрут следует разбить на участки и для каждого участка определить фактическую скорость полета, фактический расход топлива и фактическое время пролета каждого участка и всей трассы.
6. Разбивку трассы на участки производить таким образом, чтобы на концах каждого участка разность температур составляла 2-3°C. При выполнении расчетов средняя температура на участке принимается за фактическую  $T_{\phi}$ .
7. Полученные результаты расчета записать в таблицу следующего вида (табл.3.2).

**Таблица 3.2**

Номер участка	$S_{уч}$ , км	$T_{\phi}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$	$V_{\phi}$ , км/ч	$c_{ч}$ , кг/ч	$G_{\phi}$ , кг	$T_{\phi}$ , ч
1							
2							
3							
...							

$S = \dots$      $t_{\phi} = \dots$      $G_{\phi} = \dots$      $t_{CA} = \dots$      $G_{CA} = \dots$

8. Сравнить полученные результаты фактического времени полета и фактического расхода топлива со стандартными значениями. Стандартные значения указанных величин взять из условий предыдущей задачи. Варианты для выполнения работы приведены в приложении.

### Отчетный материал

1. Заполненные таблицы (табл. 3.1 и 3.2).
2. График, построенный на отдельном листе по данным табл.3.1.
3. Построенная на АКП трасса полета с указанием номеров и границ участков (делается в том случае, если задание дается по карте, а не по данным приложения).

### ПРИЛОЖЕНИЕ

#### Исходные данные

#### Вариант 1

Самолет ИЛ-62,  $M = 0,75$ ,  $c_{ч. CA} = 8620$  кг/ч,  $H = 9000$  м

Номер участка	$S_{уч}$ , км	$T_{ф}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{ф}}{T_{CA}}}$	$V_{ф}$ , км/ч	$c_{ч}$ , кг/ч	$G_{ф}$ , кг	$T_{ф}$ , ч
1	460	231					
2	380	228					
3	490	226					
4	480	224					
5	320	222					

$$S = \dots \quad t_{\phi} = \dots \quad G_{\phi} = \dots \quad t_{CA} = \dots \quad G_{CA} = \dots$$

#### Вариант 2

Самолет ИЛ-62,  $M = 0,80$ ,  $c_{ч. CA} = 8970$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S_{уч}$ , км	$T_{ф}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{ф}}{T_{CA}}}$	$V_{ф}$ , км/ч	$c_{ч}$ , кг/ч	$G_{ф}$ , кг	$T_{ф}$ , ч
1	490	213					
2	360	216					
3	530	218					
4	370	221					
5	390	223					

$$S = \dots \quad t_{\phi} = \dots \quad G_{\phi} = \dots \quad t_{CA} = \dots \quad G_{CA} = \dots$$

**Вариант 3**

Самолет ИЛ-62,  $M = 0,85$ ,  $c_{ч. CA} = 9270$  кг/ч,  $H = 11000$  м.

Номер участка	$S_{уч}$ , км	$T_{\phi}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$	$V_{\phi}$ , км/ч	$c_{ч}$ , кг/ч	$G_{\phi}$ , кг	$T_{\phi}$ , ч
1	390	214					
2	460	217					
3	610	219					
4	430	222					
5	570	225					

$S = \dots$     $t_{\phi} = \dots$     $G_{\phi} = \dots$     $t_{CA} = \dots$     $G_{CA} = \dots$

**Вариант 4**

Самолет ТУ-154,  $M = 0,75$ ,  $c_{ч. CA} = 6370$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S_{уч}$ , км	$T_{\phi}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$	$V_{\phi}$ , км/ч	$C_{ч}$ , кг/ч	$G_{\phi}$ , кг	$T_{\phi}$ , ч
1	560	224					
2	430	221					
3	550	218					
4	450	215					
5	380	213					

$S = \dots$     $t_{\phi} = \dots$     $G_{\phi} = \dots$     $t_{CA} = \dots$     $G_{CA} = \dots$

**Вариант 5**

Самолет ТУ-154,  $M = 0,80$ ,  $c_{ч. CA} = 6430$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S_{уч}$ , км	$T_{\phi}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$	$V_{\phi}$ , км/ч	$c_{ч}$ , кг/ч	$G_{\phi}$ , кг	$T_{\phi}$ , ч
1	420	214					
2	480	216					
3	510	219					
4	390	222					
5	570	224					

$S = \dots$     $t_{\phi} = \dots$     $G_{\phi} = \dots$     $t_{CA} = \dots$     $G_{CA} = \dots$

**Вариант 6**

Самолет ТУ-154,  $M = 0,85$ ,  $c_{ч. CA} = 6950$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S_{уч.}$ , км	$T_{ф.}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{ф.}}{T_{CA}}}$	$V_{ф.}$ , км/ч	$c_{ч.}$ , кг/ч	$G_{ф.}$ , кг	$T_{ф.}$ , ч
1	470	225					
2	400	223					
3	530	220					
4	420	217					
5	560	215					

$S = \dots \quad t_{ф.} = \dots \quad G_{ф.} = \dots \quad t_{CA} = \dots \quad G_{CA} = \dots$

**Вариант 7**

Самолет ТУ-134,  $M = 0,70$ ,  $c_{ч. CA} = 3150$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S_{уч.}$ , км	$T_{ф.}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{ф.}}{T_{CA}}}$	$V_{ф.}$ , км/ч	$c_{ч.}$ , кг/ч	$G_{ф.}$ , кг	$T_{ф.}$ , ч
1	370	216					
2	340	218					
3	430	220					
4	320	223					
5	290	225					

$S = \dots \quad t_{ф.} = \dots \quad G_{ф.} = \dots \quad t_{CA} = \dots \quad G_{CA} = \dots$

**Вариант 8**

Самолет ТУ-134,  $M = 0,80$ ,  $c_{ч. CA} = 3690$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S_{уч.}$ , км	$T_{ф.}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{ф.}}{T_{CA}}}$	$V_{ф.}$ , км/ч	$c_{ч.}$ , кг/ч	$G_{ф.}$ , кг	$T_{ф.}$ , ч
1	390	224					
2	270	221					
3	410	219					
4	320	217					
5	300	215					

$S = \dots \quad t_{ф.} = \dots \quad G_{ф.} = \dots \quad t_{CA} = \dots \quad G_{CA} = \dots$

Вариант 9

Самолет ИЛ-86,  $M = 0,75$ ,  $c_{ч. CA} = 10900$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S_{уч}$ , км	$T_{\phi}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$	$V_{\phi}$ , км/ч	$c_{ч}$ , кг/ч	$G_{\phi}$ , кг	$T_{\phi}$ , ч
1	590	214					
2	470	216					
3	540	219					
4	420	220					
5	510	223					

$$S = \dots \quad t_{\phi} = \dots \quad G_{\phi} = \dots \quad t_{CA} = \dots \quad G_{CA} = \dots$$

Вариант 10

Самолет ИЛ-86,  $M = 0,80$ ,  $c_{ч. CA} = 11700$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S_{уч}$ , км	$T_{\phi}$ , К	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$	$V_{\phi}$ , км/ч	$c_{ч}$ , кг/ч	$G_{\phi}$ , кг	$T_{\phi}$ , ч
1	530	224					
2	450	221					
3	570	218					
4	420	215					
5	490	213					

$$S = \dots \quad t_{\phi} = \dots \quad G_{\phi} = \dots \quad t_{CA} = \dots \quad G_{CA} = \dots$$

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОЛКА САМОЛЕТА

**Цель работы:** научиться определять высоту потолка самолета и оценивать степень влияния на нее отклонений температуры воздуха от стандартных значений.

### ПОТОЛОК САМОЛЕТА И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

*Потолок самолета (вертолета)* – это наибольшая высота, на которую он может подняться при определенном режиме полета. Потолок воздушного судна зависит от физического состояния атмосферы. Полет самолета вблизи потолка является наиболее экономичным, так как с высотой уменьшается расход топлива и повышается дальность полета.

Как вы уже знаете, по мере подъема на высоту избыток тяги уменьшается, т.е. одновременно уменьшается и вертикальная скорость набора высоты самолетом. Высота, на которой избыток тяги и вертикальная скорость равны нулю, называется теоретическим потолком. На этой высоте возможен только горизонтальный полет на наивыгоднейшей скорости.

Достигнуть теоретического потолка воздушное судно практически не может, так как по мере приближения к нему избыток тяги становится все меньше, и для набора оставшейся высоты потребуется затратить слишком много времени и топлива. Поэтому в авиации введено понятие практического потолка, определяемого как высота полета, на которой максимальная вертикальная скорость равна 0,5 м/с для поршневых и 5 м/с для реактивных самолетов.

Потолок самолета в тактико-технических данных указывается всегда для стандартных атмосферных условий, а температура воздуха у земли и на высотах и атмосферное давление у земли могут значительно отличаться от этих значений. Потолок самолета при повышении температуры воздуха на высотах и уменьшении давления у земли уменьшается и наоборот. Это совершенно очевидно, так как повышение температуры воздуха и уменьшение атмосферного давления приводят к уменьшению плотности воздуха, что, в свою очередь, напрямую сказывается на тяге двигателей самолета и как следствие – на его потолке.

Отклонение потолка самолета от стандартного значения ( $\Delta H_{nm}$ ) можно рассчитать по формуле

$$\Delta H_{nm} = H_{nm, \phi} - H_{nm, CA} = (p_{0\phi} - p_{0CA}) \cdot 8 - (T_{n\phi} - T_{nCA}) \cdot 80, \quad (4.1)$$

где  $p_{0\phi}$ ,  $p_{0CA}$  – фактическое и стандартное атмосферное давление у земли, гПа;

$T_{н ф}$ ,  $T_{н сд}$  - фактическая и стандартная температура воздуха на высоте потолка самолета, °С.

Иногда для расчетов используют упрощенную формулу

$$\Delta H_{нт} = \kappa \Delta T_n, \quad (4.2)$$

где  $\kappa$  – коэффициент; для разных типов самолетов этот коэффициент различен и равен для самолета ТУ-134  $\kappa = -40$  м/°С, для самолета ТУ-154  $\kappa = -55$  м/°С, а для самолетов ИЛ-62 и ИЛ-86  $\kappa = -100$  и  $-130$  м/°С соответственно;  $\Delta T_n$  – отклонение температуры воздуха от стандартной на высоте потолка самолета.

### *Контрольные вопросы*

1. Что называется потолком самолета?
2. Какие параметры атмосферы влияют на отклонение потолка самолета от стандартного значения?
3. В чем отличие теоретического и практического потолка самолета?
4. Как можно определить фактическую высоту потолка самолета?

### *Материалы для работы*

1. Синоптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа или исходные данные, выданные преподавателем.
2. Лист миллиметровой бумаги.

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГТМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология.- СПб.: Гидрометеиздат, 1992.- 352с.

### *Порядок выполнения работы*

1. Для трассы, указанной преподавателем, или по полученным от него исходным данным определить фактический потолок самолета на каждом участке трассы. При использовании Атласа все карты погоды брать за один и тот же срок наблюдений.
2. Построить график отклонения фактического потолка самолета от стандартного значения для всех участков трассы.
3. Проанализировать полученные результаты.

### Методические указания

1. Для выполнения работы следует использовать исходную информацию (трассу), которая была вам задана при выполнении предыдущей работы.
2. Отклонение потолка самолета от стандартного значения рассчитать по формулам (4.1) и (4.2).
3. При выполнении расчетов по формулам значения давления у земли снимать с приземной синоптической карты или взять из таблицы приложения для своего варианта.
4. Значение фактической температуры для каждого участка трассы взять из данных предыдущей работы или определить по карте АКП, а стандартную температуру – по аэрологической диаграмме (или рассчитать самостоятельно) в зависимости от заданного эшелона полета.
5. При построении графиков отклонений потолка самолета от стандартного следует выбрать масштаб: по вертикали 1 см – 250 м, а по горизонтали 1 см – 150 км.
6. При анализе построенных кривых сравнить результаты расчетов по формулам (4.1) и (4.2), а затем оценить отклонение потолка от стандартного и разность полученных результатов при использовании той или другой формулы.

### Отчетный материал

1. Таблица с результатами расчета следующего вида:

Номер участка	$p_{0\phi}$ , гПа	$\Delta p_{0\phi}$ , гПа	$T_{н\phi}$ , °С	$\Delta T_{н\phi}$ , °С	$\Delta H_{(4.1)}$ , м	$\Delta H_{(4.2)}$ , м
1						
...						

2. Построенный график отклонений потолка самолета от стандартного, рассчитанный по формулам (4.1) и (4.2).
3. Составленный на отдельном листе анализ полученных результатов должен содержать следующие данные:
  - участки с максимальным и минимальным отклонением потолка самолета от стандартного;
  - перепад высот потолка по заданному маршруту;
  - максимальная и минимальная разность высот при расчете потолка по формуле (4.1) и (4.2).

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Исходные данные об атмосферном давлении ( $p_0$ , гПа) у земли на отдельных участках трассы

Вариант работы	Номера участков				
	1	2	3	4	5
1	1008	1001	999	997	1003
2	1003	1009	1012	1015	1019
3	1000	996	995	993	987
4	997	985	981	977	983
5	1015	1011	1007	1004	1009
6	1023	1032	1035	1037	1033
7	1013	1017	1019	1023	1016
8	985	991	995	998	1000
9	991	998	1003	1005	1001
10	1017	1014	1010	1005	1007

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕТРА НА ПОЛЕТ ВОЗДУШНОГО СУДНА

**Цель работы:** научиться оценивать влияние скорости и направления ветра на взлет, полет и посадку самолета.

### ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА ВЗЛЕТ, ПОЛЕТ И ПОСАДКУ САМОЛЕТА

Направление и скорость ветра оказывают значительное влияние на движение любого воздушного судна.

Как вы знаете, взлет и посадка самолета всегда производятся против ветра. Это увеличивает устойчивость и управляемость самолета, уменьшает время и длину разбега при взлете, а также время и длину пробега при посадке. Ветер оказывает существенное влияние на характеристики крейсерского полета самолета (полета по маршруту). Их изменение под действием ветра можно оценить, если воспользоваться так называемым навигационным треугольником скоростей и с его помощью решить все возникающие навигационные задачи (рис.5.1).

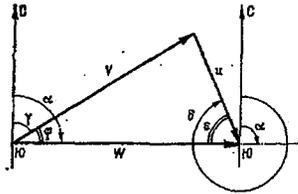


Рис.5.1. Навигационный треугольник скоростей.

Навигационный треугольник скоростей образуется вектором воздушной скорости ( $V$ ), вектором скорости ветра ( $u$ ) и вектором путевой скорости ( $W$ ). Последний представляет собой векторную сумму воздушной скорости и скорости ветра. Иными словами, если самолет летит со скоростью ( $V$ ), а реальный ветер его сносит в направлении и со скоростью ( $u$ ), то результирующее передвижение самолета будет происходить по направлению вектора ( $W$ ).

Обязательными элементами навигационного треугольника скоростей являются и его углы:  $\gamma$  – курс самолета;  $\alpha$  – путевой угол;  $\phi$  – угол сноса;  $\epsilon$  – угол ветра и  $\delta$  – направление ветра.

После того как мы обозначили все элементы навигационного треугольника, этот треугольник можно «заставить» работать. Для этого нужно только немножко вспомнить тригонометрию. Итак, глядя на рис.5.1 и приведенные ниже обозначения сторон и углов, можно записать:

$$\varphi = \alpha - \gamma; \quad (5.1)$$

$$\frac{U}{\sin \varphi} = \frac{V}{\sin \varepsilon} \quad (5.2) \quad \text{или} \quad \sin \varphi = \frac{U}{V} \sin \varepsilon; \quad (5.3)$$

$$\varphi = \arcsin (U/V); \quad (5.4)$$

$$\vec{W} = \vec{V} + \vec{U} = \cos \varphi + U \cos \varepsilon; \quad (5.5)$$

Продолжительность полета  $t$  (ч) на участке трассы длиной  $S$  (км) можно определить по формуле

$$t = S/W, \quad (5.6)$$

а фактический расход топлива при пролете каждого участка – по формуле

$$G_{m,\varphi} = c_{ч,\varphi} t. \quad (5.7)$$

Таким образом, используя информацию о поле фактического ветра или прогнозируемого ветра по трассе, можно оценить изменение продолжительности полета по сравнению со стандартными (штилевыми) условиями, определить расход топлива на отдельных участках трассы и по всей трассе в целом и дать рекомендации по оптимизации режима полета с учетом ветра или по выбору оптимальной траектории полета.

### *Контрольные вопросы*

1. Как изменяются взлетно-посадочные характеристики самолета под влиянием ветра?
2. В чем заключается опасность сильного бокового ветра на взлет и посадку самолета?
3. Как влияет ветер на скорость полета воздушного судна?
4. Как меняется направление полета воздушного судна под действием ветра?
5. С помощью каких формул определяется путевая скорость и угол сноса самолета?
6. Как оценить изменение продолжительности полета под действием ветра?

### *Материалы для работы*

1. Синоптический материал из Учебного атласа (приземная и высотные карты, которые использовались в лабораторной работе 3).
2. Отчетные материалы лабораторной работы 3.

### Рекомендуемая литература

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология.- СПб.: Гидрометеиздат, 1992.- 352с.
3. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации.-Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 302 с.

### Порядок выполнения работы

1. Определить для отдельных участков трассы, указанной преподавателем, угол сноса самолета, курс и путевую скорость, а также продолжительность полета по отдельным участкам и по всей трассе.
2. Для решения задачи воспользоваться результатами расчетов воздушной скорости, полученными в лабораторной работе 3.
3. Сравнить время полета по маршруту в стандартных условиях со временем полета по этому же маршруту с учетом ветра и температуры.

### Методические указания

1. Для выполнения данной работы использовать трассу (табличные исходные данные), которые были указаны преподавателем при выполнении лабораторной работы 3.
2. Определить по карте АКП или по табличным исходным данным навигационные характеристики на участках трассы и характеристики ветра. Для определения путевого угла и направления ветра воспользоваться транспортиром или табличными данными, скорость ветра усреднить по участкам трассы (взять из таблицы), а значения воздушной скорости  $V$  на участках взять из результатов расчетов, полученных при выполнении лабораторной работы 3.

Расчет параметров полета с учетом ветра проводить по формулам (5.1) – (5.7), вытекающим из решения навигационного треугольника скоростей.

Результаты расчетов записать в таблицу, форма которой представлена ниже.

Номер участка	$S$ , км	$V_{\phi}$ , км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ , км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ , км/ч	$t_4$	$\sigma_{т.ф}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

При заполнении граф 1-3 таблицы исходную информацию взять из лабораторной работы 3. Графы 4-6 заполнять по данным, взятым с АКП или из своего варианта приложения к работе. Остальные характеристики (графы 7-12) рассчитываются по приведенным выше формулам.

3. Под таблицей записать сведения о продолжительности полета по трассе и расходе топлива в стандартных условиях, с учетом реального поля температуры (лабораторная работа 3) и с учетом реального поля температуры и ветра (данная работа). При анализе полученных результатов обратить внимание на отклонение скорости полета и изменение продолжительности полета и расхода топлива по сравнению с условиями в стандартной атмосфере.

### *Отчетный материал*

1. Заполненная таблица со всеми выполненными расчетами и составленный на отдельном листе анализ, в котором должно быть отражено:
  - время полета в стандартных условиях и в реальном поле температуры и ветра;
  - оценка вклада полей температуры и ветра в изменение общей продолжительности полета по трассе;
  - оценка вклада поля ветра в изменение воздушной скорости.
2. Нарисованный навигационный треугольник скоростей для «своих» значений путевого угла и направления ветра.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Исходные данные

#### Вариант 1

Самолет ИЛ-62,  $M = 0,75$ ,  $c_{ч.СА} = 8620$  кг/ч,  $H = 9000$  м

Но- мер уча- стка	$S$ км	$V_{\phi}$ км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ , км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ , км/ч	$t_{ч}$	$G_{т,\phi}$
1	460		130	220	70						
2	380		140	240	80						
3	490		150	270	110						
4	480		150	260	90						
5	320		150	280	120						

#### Вариант 2

Самолет ИЛ-62,  $M = 0,80$ ,  $c_{ч.СА} = 8970$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Но- мер уча- стка	$S$ км	$V_{\phi}$ км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ , км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ км/ч	$t_{ч}$	$G_{т,\phi}$
1	490		230	190	50						
2	360		250	200	90						
3	530		270	200	120						
4	370		270	220	80						
5	390		270	210	60						

#### Вариант 3

Самолет ИЛ-62,  $M = 0,85$ ,  $c_{ч.СА} = 9270$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Но- мер уча- стка	$S$ км	$V_{\phi}$ км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ , км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ , км/ч	$t_{ч}$	$G_{т,\phi}$
1	390		70	320	60						
2	460		60	340	80						
3	610		80	350	90						
4	430		90	340	100						
5	570		90	310	70						

### Вариант 4

Самолет ТУ-154,  $M = 0,75$ ,  $c_{x,CA} = 6370$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S$ км	$V_{\phi}$ км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ , км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ , км/ч	$t_{ч}$	$G_{т,ф}$
1	560		200	240	60						
2	430		190	220	100						
3	550		160	210	120						
4	450		150	170	90						
5	380		150	150	80						

### Вариант 5

Самолет ТУ-154,  $M = 0,80$ ,  $c_{x,CA} = 6430$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S$ км	$V_{\phi}$ км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ , км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ , км/ч	$t_{ч}$	$G_{т,ф}$
1	420		310	240	110						
2	480		320	260	80						
3	510		340	270	120						
4	390		340	230	60						
5	570		350	210	50						

### Вариант 6

Самолет ТУ-154,  $M = 0,85$ ,  $c_{x,CA} = 6950$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S$ км	$V_{\phi}$ км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ км/ч	$t_{ч}$	$G_{т,ф}$
1	470		140	340	80						
2	400		130	350	130						
3	530		120	320	100						
4	420		120	330	90						
5	560		100	310	120						

### Вариант 7

Самолет ТУ-134,  $M = 0,70$ ,  $c_{x,CA} = 3150$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S$ км	$V_{\phi}$ км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ , км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ , км/ч	$t_{ч}$	$G_{т,ф}$
1	370		190	270	120						
2	340		170	260	100						

3	430		210	250	110						
4	320		220	250	70						
5	290		200	230	90						

### Вариант 8

Самолет ТУ-134,  $M = 0,80$ ,  $c_{x,CA} = 3690$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S$ , км	$V_{\phi}$ , км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ , км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ , км/ч	$t_{ч}$	$G_{т,ф}$
1	390		240	210	90						
2	270		250	220	70						
3	410		250	200	100						
4	320		260	180	110						
5	300		270	160	120						

### Вариант 9

Самолет ИЛ-86,  $M = 0,75$ ,  $c_{x,CA} = 10900$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S$ , км	$V_{\phi}$ , км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ , км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ , км/ч	$t_{ч}$	$G_{т,ф}$
1	590		70	200	120						
2	470		80	210	90						
3	540		90	220	110						
4	420		80	220	130						
5	510		100	230	140						

### Вариант 10

Самолет ИЛ-86,  $M = 0,80$ ,  $c_{x,CA} = 11700$  кг/ч,  $H = 11000$  м

Номер участка	$S$ , км	$V_{\phi}$ , км/ч	$\alpha^{\circ}$	$\delta^{\circ}$	$U$ , км/ч	$\varepsilon^{\circ}$	$\varphi^{\circ}$	$\gamma^{\circ}$	$W$ , км/ч	$t_{ч}$	$G_{т,ф}$
1	530		250	210	150						
2	450		260	200	120						
3	570		270	190	100						
4	420		280	230	60						
5	490		280	250	80						

## ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ

Цель работы: изучить методы диагноза и прогноза струйных течений.

### ВЛИЯНИЕ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА ПОЛЕТ. СПОСОБЫ ПРОГНОЗА СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ

Для авиации струйные течения (СТ) имеют большое значение. При полете самолета в зоне струйного течения путевая скорость значительно отличается от воздушной, что обусловлено большой скоростью ветра, нередко достигающей на оси струи значений 200 км/ч и более. Самолет, пересекая область струйного течения, испытывает значительный снос. Так, при боковом ветре на оси СТ, скорость которого составляет 200 км/ч, максимальный угол сноса достигает 14°. Естественно, это приводит к необходимости внесения поправок в курс самолета.

Часто в зоне СТ отмечается интенсивная атмосферная турбулентность, которая может значительно осложнить полет.

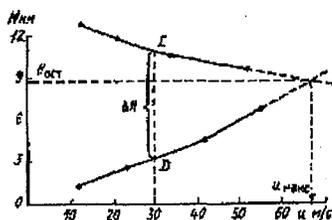
При метеорологическом обеспечении полетов информация о местоположении и интенсивности струйного течения играет важную роль. Сведения о высоте оси струйного течения и скорости ветра на его оси наносятся на авиационную прогностическую карту уровня 300 гПа, а также используются для уточнения прогноза ветра на больших высотах (вблизи оси струйного течения).

Для диагноза и прогноза струйных течений применяются (используются) фактические и прогностические карты барической топографии уровней 400, 300 и 200 гПа, а также карты максимального ветра. Струйные течения обнаруживаются на них по сгущению изогипс в высотных фронтальных зонах.

Детальный анализ распределения ветра в струйных течениях основан на построении вертикального профиля ветра по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы. В авиационных прогнозах погоды о струйном течении нужно сказать о направлении ветра, его максимальной скорости на оси струи, высоте оси струйного течения и толщине струйного течения (высоте верхней и нижней границы струи). Всю информацию о струйном течении, кроме направления ветра, которое всегда определяется синоптическим методом, можно определить, используя метод прогноза, предложенный Е. Рейтером.

Е. Рейтер предложил по данным зондирования атмосферы в произвольном масштабе построить график, исходными данными для которого являются высота поверхности и скорость ветра (рис.6.1). Все точки с исходной информацией последовательно соединяются между собой отрезками прямых линий, причем построение этой ломаной линии производится как сверху, так и снизу (от верхней точки вниз и от нижней точки вверх). Каждая ветвь линии проводится до одного из двух максимальных значений скорости ветра.

Эти значения не соединяются между собой отрезком прямой, а построение делается так, как показано на рис.6.1 (по прямой продлевается «последний» нижний и верхний отрезок ломаной линии до их пересечения). Эта точка пересечения укажет высоту оси струйного течения, максимальную скорость на оси струи, а разница в высотах точек *E* и *D* дает представление о толщине струйного течения (ведь граница струйного течения это изотаха 30 м/с).



*Рис.6.1. Определение максимальной скорости ветра, высоты оси и мощности струйного течения*

Порядок построения и пользование данным графиком дополнительных пояснений не требует.

### *Контрольные вопросы*

1. Что называется струйным течением?
2. Как влияет струйное течение на снос и путевую скорость самолета?
3. Как можно узнать (спрогнозировать) параметры струйного течения по методу Е. Рейтера?
4. Какая информация о струйном течении наносится на авиационные карты погоды?

### *Материалы для работы*

1. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.
2. Лист бумаги.

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология.- СПб.: Гидрометеиздат, 1992.- 352с.
3. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. СПб.: Гидрометеиздат, изд. 2-е, 1992, 272 с.
4. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1991, 616 с.

5. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации.-Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 302 с.

### *Порядок выполнения работы*

1. Раскодировать данные температурно-ветрового зондирования атмосферы из приложения, указанные преподавателем.
2. Построить график для прогноза струйного течения по методу Е. Рейтера.
3. Определить по графику параметры струйного течения, необходимые для обеспечения авиации.

### *Методические указания*

1. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы (приложение) раскодировать с помощью кода КН-04 и записать по форме таблицы.

<i>H</i> км	<i>p</i> , гПа	<i>T</i> , °С	<i>D</i> , °С	<i>dd</i> °	<i>ff</i> , м/с

2. Вертикальный профиль скорости ветра построить на отдельном листе в масштабе: по вертикали 1 см – 1 км, по горизонтали 1 см – 5 м/с.
3. Для определения высоты оси струйного течения, максимальной скорости ветра на оси струи и толщины струйного течения использовать метод Е. Рейтера.
4. На вертикальном профиле ветра (рис.6.1) выделить четыре точки, в которых наблюдаются наибольшие значения скорости ветра. Эти точки попарно соединить отрезками прямых линий и продолжить до пересечения. Координаты точки пересечения на графике укажут максимальную скорость ветра и высоту оси струйного течения. Толщину струйного течения определять так, как было указано выше.
5. Нанести на график высоты ближайших к оси струи эшелонов полета (выше и ниже оси), если путевой угол равен 130 и 250°.
6. Для указанных в п.5 путевых углов с учетом реального направления ветра (см. таблицу с раскодированными данными) построить два навигационных треугольника скоростей.

### *Отчетный материал*

1. Заполненная на отдельном листе таблица с раскодированными данными температурно-ветрового зондирования атмосферы
2. Построенный на отдельном (или том же) листе вертикальный профиль ветра с выделенными параметрами струйного течения (метод Е. Рейтера) и обозначенными эшелонами полета.
3. Построенные два навигационных треугольника скоростей.

ПРИЛОЖЕНИЕ  
Исходные данные

*Вариант 1*  
Нижний Новгород

ТТАА 15001 27553 99000 00057 21005 92701 04350 22008 85359 02734 23008  
70993 07958 24013 50549 24760 24025 40711 34560 25034 30897 51160 26041  
25013 59360 26038 20151 59158 26027 15333 57758 26020 10595 56360 26015  
88231 61160 26033

*Вариант 2*  
Самара

ТТАА 15001 28900 99006 01057 21508 92710 02740 22010 85498 03934 22510  
70200 08958 22012 50565 25960 22516 40720 33960 23031 30899 52960 24049  
25020 58160 25045 20160 58158 25530 15340 57760 26020 10583 56160 26018  
88205 58758 25530

*Вариант 3*  
Москва

ТТАА 15001 27617 99009 01257 21509 92695 01958 21509 85460 02934 22510  
70112 07758 23012 50550 24960 23016 40715 34160 23528 30887 51360 24040  
25012 59160 25037 20152 59358 25529 15334 57958 26015 10596 56160 26512  
88232 61360 26025

*Вариант 4*  
Волгоград

ТТАА 15001 34560 99005 00657 21007 92703 02150 21010 85465 03734 22009  
70890 08758 22011 50560 25760 22515 40716 35760 23030 30888 52760 24050  
25019 58360 25045 20159 58358 25530 15331 58759 26512 10599 57760 26010  
88339 60360 26535

*Вариант 5*  
Санкт-Петербург

ТТАА 15001 26063 99001 00857 21006 92697 01144 21007 85480 02534 22008  
70070 07558 22510 50530 24560 23014 40717 34360 23525 30896 51560 24042  
25011 59560 25040 20153 59558 25525 15335 57558 26015 10594 56560 26510  
88233 61560 26028

*Вариант 6*

Казань

ТТАА 15001 27595 99004 01857 20504 92700 00758 21006 85506 03534 22506  
70050 08558 22008 50532 24160 22512 40714 35560 23024 30899 52560 24040  
25018 58560 25040 20158 58558 25525 15332 58558 26015 10598 57560 26008  
88238 60560 26534

*Вариант 7*

Киев

ТТАА 15001 33345 99008 01657 20505 92701 00856 21006 85468 02334 21507  
70061 07358 22009 50535 24360 22513 40719 34760 23023 30895 51760 24040  
25014 59760 25038 20155 59758 25524 15336 57358 26515 10593 56760 26009  
88234 61760 26525

*Вариант 8*

Харьков

ТТАА 15001 34300 99007 01457 21505 92707 01056 22006 85474 03134 22507  
70115 08158 23009 50555 25360 23013 40723 35160 24020 30893 52160 24535  
25016 58960 25035 20156 58958 25522 15338 58158 26012 10591 57160 26010  
88236 60960 26025

*Вариант 9*

Таллинн

ТТАА 15001 26048 99002 00457 21002 92689 01756 21005 85389 02134 22005  
70999 07158 22007 50545 25160 22511 40721 34960 23020 30894 51960 24038  
25015 59960 25036 20154 59958 25522 15337 57158 26512 10592 56960 26507  
88235 61960 26532

*Вариант 10*

Рига

ТТАА 15001 26422 99003 00257 21003 92699 01356 21005 85500 03334 22008  
70120 08358 22010 50540 25560 22515 40712 35360 23026 30892 52360 24041  
25017 58760 25040 20157 58758 25528 15339 58358 26515 10597 57360 26010  
88236 60760 26028

## **ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ, ВЫЗЫВАЮЩЕЙ БОЛТАНКУ САМОЛЕТОВ**

Цель работы: изучить методы определения зон интенсивной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов; приобрести практические навыки выявления зон болтанки по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы.

### **ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ПОЛЕТ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Среди метеорологических явлений, оказывающих влияние на полет воздушного судна, одним из наиболее опасных является атмосферная турбулентность, вызывающая интенсивную болтанку, под которой понимается резкое перемещение самолета в вертикальной плоскости. Болтанка, особенно сильная, - явление довольно редкое. Тем не менее, внезапное попадание самолета в зону интенсивной турбулентности может быть причиной серьезных летных происшествий. В связи с этим перед синоптиками метеорологических органов стоит сложная задача диагноза и прогноза болтанки самолетов.

Атмосфера практически всегда находится в турбулентном состоянии. Основной причиной возмущения воздушных течений являются сдвиги ветра в атмосфере и контрасты температуры. На практике обычно различают механическую (орографическую), термическую (конвективную) и динамическую турбулентность.

Таким образом, в атмосфере на различных уровнях всегда существуют турбулентные вихри разного масштаба. Эти вихри развиваются, исчезают, перемещаются и каждый по-разному оказывает влияние на самолет, пролетающий через него.

В авиационных прогнозах погоды указывается нижняя и верхняя границы зоны турбулентности и ее интенсивность. Для прогноза атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов, используются как синоптические, так и расчетные методы.

Суть синоптических методов прогноза атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов, заключается в комплексном анализе приземных карт погоды и карт барической топографии разных уровней.

Анализ синоптических и кольцевых карт погоды позволяет определить характер облачности в интересующем районе, наличие фронтальных разделов и их активность. По высотным картам определяется форма барического поля на высоте полета, скорость ветра, знак адвекции температуры и дивергенции потока.

Синоптический метод прогноза болтанки самолетов является качественным, поэтому представляет практический интерес диагноз и прогноз болтанки путем одновременного учета нескольких количественных критериев, полученных или рассчитанных на основе данных температурно-ветрового зондирования атмосферы. Подобный учет производится путем отыскания статистических связей между количественными критериями и фактом наличия или отсутствия болтанки.

Расчетные методы прогноза болтанки самолетов сводятся к определению числа Ричардсона или других критериев, характеризующих турбулентное состояние атмосферы.

На практике мы с вами рассмотрим графический метод прогноза атмосферной турбулентности, который получил достаточно широкое распространение.

В основу графического метода диагноза и прогноза болтанки положено предположение, что турбулентность, вызывающая болтанку самолетов, обусловлена только вертикальными градиентами скорости ветра, направления ветра и температуры воздуха.

Суть графического метода прогноза заключается в следующем. Если построить вертикальные профили скорости, направления ветра и температуры воздуха, то для каждого линейного участка профиля вертикальные градиенты соответствующих метеорологических величин будут характеризоваться наклоном рассматриваемого участка кривой распределения к горизонтальной оси. Чем меньше угол наклона между построенными кривыми и горизонтальной осью, тем больше вертикальный градиент данной метеорологической величины.

В качестве критериев при диагнозе и прогнозе болтанки используется понятие критических значений вертикальных градиентов. По результатам экспериментальных исследований за критические значения вертикальных градиентов (на 1 км высоты) приняты следующие величины: для скорости ветра – 10 м/с, для направления ветра – 15° и для температуры – 7°С.

Методика выделения зон болтанки самолетов сводится к тому, что по построенным профилям ветра и температуры воздуха для каждого линейного участка определяется угол наклона вертикального профиля к горизонтальной оси и сравнивается с критическим значением.

Для удобства расчетов можно так подобрать масштаб, что для всех трех величин критический угол наклона окажется одинаковым. С этой целью, произвольно выбрав масштаб по вертикали для высоты и одной из трех величин (например, для скорости ветра) по горизонтали, необходимо подобрать масштаб для двух других величин таким образом, чтобы отрезку, соответствующему 10 м/с на оси скорости ветра, соответствовал отрезок на оси направления ветра равный 15°, а на оси температуры – отрезок, равный 7°С.

После этого на график вертикального распределения ветра и температуры воздуха следует нанести сетку, наклон которой будет соответствовать критическим значениям вертикальных градиентов (это

можно делать и в обратном порядке: на специальном бланке с уже выбранными масштабами и нанесенной сеткой построить вертикальные профили распределения ветра и температуры). Теперь прогноз болтанки самолетов сведется к сравнению наклона стандартных линий сетки и наклона исследуемого участка профиля. Это осуществляется таким же образом, как и определение устойчивости стратификации с помощью аэрологической диаграммы или при определении характера адвекции на совмещенной карте АТ-700 и ОТ500/1000. Однако, в отличие от аэрологической диаграммы в данном случае «характер устойчивости» определяется отдельно для каждого вертикального профиля.

Наличие «неустойчивости» одного из вертикальных профилей является признаком существования турбулентности, благоприятной для возникновения болтанки. Если в каком-нибудь слое «неустойчивость» обнаруживается по вертикальным профилям двух величин, то это служит указанием на большую вероятность болтанки.

Пример графического метода прогноза болтанки приведен на рис.7.1. В зависимости от вертикальных градиентов скорости ветра на рис.7.1 можно выделить два слоя повышенной турбулентности: первый располагается на высотах 8,1-9,0 км, а второй – на высотах 10,7-11,4 км. В зависимости от вертикальных градиентов направления ветра слой повышенной турбулентности расположен на высотах 11,0-12,0 км. В слое 11,0-11,4 км наблюдается зона наибольшей вероятности болтанки, так как здесь одновременно выполняются два признака «неустойчивости». Судя по распределению температуры воздуха с высотой, из-за вертикальных градиентов температуры в приведенном примере болтанки не наблюдается.

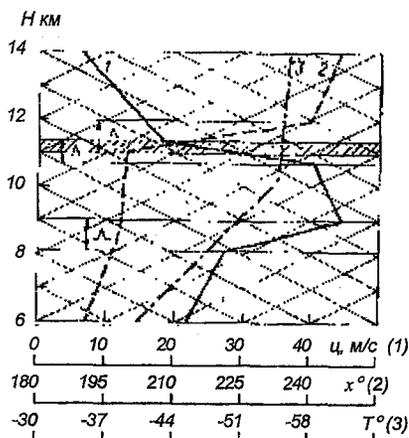


Рис.7.1. Графический метод прогноза болтанки самолетов.

1,2,3 – распределение с высотой скорости ветра, направления ветра и температуры соответственно.

Основное достоинство графического метода – высокая оперативность. Его целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо получить картину вертикального распределения слоев повышенной турбулентности и болтанки самолетов для всех высот в определенном районе. Графический метод диагноза и прогноза болтанки самолетов по сути дела позволяет проследить за вертикальным распределением всех характеристик, которые входят в число Ричардсона  $Ri$ . Получение непрерывной характеристики распределения зон болтанки самолетов для всех высот устраняет недостаток методов прогноза болтанки, основанных на определении числа  $Ri$ .

### *Контрольные вопросы*

1. Что называется болтанкой самолетов?
2. Какая разница между турбулентностью и болтанкой?
3. Какие причины приводят к возмущению атмосферы, вызывающей болтанку самолетов?
4. В каких синоптических ситуациях болтанка самолетов наблюдается наиболее часто?
5. Какие критерии используются для диагноза и прогноза болтанки самолетов?
6. Какие методы прогноза болтанки самолетов используются в оперативной практике?
7. В чем заключается суть графического метода прогноза болтанки самолетов?

### *Материалы для работы*

1. Синоптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа или один из вариантов приложения к этой работе.
2. Лист миллиметровой бумаги.

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология.- СПб.: Гидрометеиздат, 1992.- 352с.
3. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. СПб.: Гидрометеиздат, изд. 2-е, 1992, 272 с.
4. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации.-Л.: Гидрометеиздат, 1985, 302 с.

### *Порядок выполнения работы*

1. На листе бумаги нарисовать таблицу, форма которой указана в приложении, и из Учебного атласа выбрать и выписать необходимые данные для ее заполнения в слое от земли до уровня 200 гПа.

2. Пункт, для которого производится выборка данных, и дата использования синоптического материала из Атласа, указываются преподавателем. При отсутствии синоптического материала преподавателем указывается вариант приложения к работе.
3. По данным заполненной таблицы определить слои возможной болтанки самолетов графическим методом.
4. Проанализировать полученные результаты.

### *Методические указания*

1. На листе миллиметровой бумаги вычертить сетку, необходимую для прогноза болтанки самолетов графическим методом. Для этого использовать масштаб: по вертикали 1 см – 1 км, по горизонтали 1 см – 5 м/с для скорости ветра,  $7,5^\circ$  для направления ветра и  $2,5^\circ\text{C}$  для температуры воздуха. В случае очень больших изменений направления ветра или температуры в слое от земли до высоты 200 гПа горизонтальный масштаб можно изменить, но соотношение масштабов должно остаться постоянным.
2. Наклонные линии сетки проводятся с таким расчетом, чтобы угол их наклона к горизонтальной оси составил 10 м/с на 1 км высоты,  $15^\circ$  на 1 км высоты и  $7^\circ\text{C}$  на 1 км высоты.
3. После вычерчивания сетки на этот же лист по данным заполненной таблицы нанести вертикальные профили скорости ветра, направления ветра и температуры воздуха.
4. Сравнить угол наклона стандартных линий сетки и реальных профилей температуры и ветра и выделить слои возможной болтанки самолетов. Эти слои будут наблюдаться на тех высотах, на которых угол наклона фактического распределения параметров атмосферы с горизонтальной осью будет меньше угла наклона стандартных линий сетки с той же осью.
5. На отдельном листе составить и написать анализ полученных результатов.

### *Отчетный материал*

1. Заполненная на отдельном листе таблица с выписанными или переписанными исходными данными.
2. Построенный график для прогноза болтанки самолетов графическим методом с аккуратно проведенными линиями сетки, нанесенными профилями скорости ветра, направления ветра и температуры воздуха и выделенными слоями болтанки самолетов.
3. Написанный на том же листе анализ полученных результатов, в котором следует указать в каких слоях (верхняя и нижняя граница в километрах с десятичными долями) и по величине какого вертикального градиента здесь возможна болтанка самолетов.

ПРИЛОЖЕНИЕ  
Исходные данные

*Вариант 1*

$H, \text{ км}$	$V, \text{ м/с}$	$\alpha, \text{ град}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$
0	5	210	20
1,4	11	230	11
2,9	29	240	-3
5,4	36	250	-17
7,1	43	270	-29
9,0	25	280	-43
10,9	12	310	-51

*Вариант 2*

$H, \text{ км}$	$V, \text{ м/с}$	$\alpha, \text{ град}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$
0	6	200	14
1,5	15	240	8
2,8	31	250	-10
5,3	39	260	-19
7,0	47	280	-32
9,1	25	290	-47
10,6	11	330	-55

*Вариант 3*

$H, \text{ км}$	$V, \text{ м/с}$	$\alpha, \text{ град}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$
0	3	150	11
1,6	14	170	4
2,7	30	220	-9
5,5	41	240	-17
7,3	49	250	-31
9,2	28	270	-45
10,8	10	290	-56

*Вариант 4*

$H, \text{ км}$	$V, \text{ м/с}$	$\alpha, \text{ град}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$
0	2	170	21
1,4	12	190	9
2,9	26	240	-5
5,3	43	250	-17
7,1	48	260	-30
9,1	25	280	-42
11,0	14	280	-58

*Вариант 5*

$H, \text{ км}$	$V, \text{ м/с}$	$\alpha, \text{ град}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$
0	5	200	19
1,3	11	210	6
2,8	29	240	-6
5,2	45	250	-19
7,0	36	230	-28
9,0	20	270	-41
11,1	11	270	-57

*Вариант 6*

$H, \text{ км}$	$V, \text{ м/с}$	$\alpha, \text{ град}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$
0	4	270	24
1,5	13	260	15
2,9	25	240	-3
5,0	41	220	-18
7,1	33	200	-27
9,2	21	190	-43
10,5	10	170	-59

*Вариант 7*

$H, \text{ км}$	$V, \text{ м/с}$	$\alpha, \text{ град}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$
0	7	250	20
1,4	18	250	11
3,0	29	240	-4
5,2	43	210	-17
7,3	31	200	-29
9,4	24	180	-47
10,8	12	180	-61

*Вариант 8*

$H, \text{ км}$	$V, \text{ м/с}$	$\alpha, \text{ град}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$
0	3	230	18
1,3	17	220	9
2,8	28	220	-5
5,1	41	190	-18
7,4	33	170	-27
9,3	22	130	-48
10,9	10	120	-60

*Вариант 9*

<i>H, км</i>	<i>V, м/с</i>	<i>α, град</i>	<i>T, °С</i>
0	4	240	15
1,5	16	230	4
2,9	29	200	-7
5,3	42	190	-16
7,5	30	180	-28
9,2	22	140	-43
10,7	11	130	-57

*Вариант 10*

<i>H, км</i>	<i>V, м/с</i>	<i>α, град</i>	<i>T, °С</i>
0	2	230	15
1,3	17	250	4
2,8	26	280	-7
5,4	44	310	-16
7,2	31	330	-28
9,1	23	340	-43
10,8	10	330	-57

## Лабораторная работа 8

### Диагноз и прогноз облачности

Цель работы: изучить методику прогноза облачности, используемую на авиационных метеорологических станциях.

#### ВЛИЯНИЕ ОБЛАЧНОСТИ НА ПОЛЕТЫ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Условия полетов определяются пространственной структурой облачности (высотой верхней и нижней границ, вертикальной мощностью, расслоенностью, толщиной облачных слоев и безоблачных прослоек), ее микрофизическими характеристиками, температурным режимом, водностью и турбулентным состоянием. Облачность существенно сказывается на самолетовождении, усложняет визуальное наблюдение и ориентировку в пространстве, оказывает влияние на профиль полета и выбор маршрута, затрудняет выполнение маневров по высоте.

Основные затруднения для пилотов при взлете и посадке связаны с облачностью и условиями видимости, которая зависит от высоты облаков, влажности и скорости ветра. Ухудшение видимости у земной поверхности чаще всего происходит при наличии низкой облачности. Под низкими облаками обычно понимают облака, высота нижней границы которых менее 600 м, хотя наиболее опасными для полетов являются облака с высотой нижней границы менее 200 м.

Высота нижней границы низких облаков довольно изменчива во времени и в пространстве. Эта характеристика чрезвычайно важна для оценки метеорологических условий взлета, посадки воздушных судов и полетов на малых высотах.

#### *Контрольные вопросы*

1. Как классифицируется облачность по высоте?
2. Как классифицируется облачность по морфологии?
3. Как можно выделить облачные слои по аэрологической диаграмме?
4. Какие характеристики облачности необходимо знать при обеспечении полетов воздушных судов?

#### *Материалы для работы*

1. Графики для прогноза облачности по методам А.К.Лугченко, Е.И. Гоголевой, М.В. Рубинштейна.
2. Исходные данные для выполнения работы (см. приложение).

### Рекомендуемая литература

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г и др. Авиационная метеорология.- СПб.: Гидрометеиздат, 1992.-352 с.
3. Баранов А.М. Облака и безопасность полетов.– СПб.: Гидрометеиздат, 1983. с.231.
4. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992.- 271с.
5. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 53-93.

### Порядок выполнения работы

1. Определить возможность выполнения полетов на аэрофотосъемку местности в 12 и 15 ч, если известно, что она проводится при количестве облаков 4 балла (3 октанта) и менее (приложение, задание 1).
2. Определить возможность вылета самолета санитарной авиации (минимум погоды  $100 \times 1000$ ), если с метеостанции района посадки поступили только данные приземных наблюдений о температуре воздуха, температуре точки росы и относительной влажности (задание 2).
3. Определить возможность выполнения полета по маршруту на самолете, экипаж которого имеет минимум  $200 \times 2000$  (задание 3).
4. Определить возможность визуального полета на высоте 100 м для выполнения авиационно-химических работ (задание 4).
5. Определить возможность посадки самолета на аэродроме через 2 ч, если экипаж самолета имеет минимум  $100 \times 1000$  (задание 5).
6. Определить нижний эшелон полета за облаками с курсом  $90$  и  $270^\circ$  для заданного маршрута (задание 6).

### Методические указания

1. Для прогноза количества внутримассовых конвективных облаков необходимо по данным радиозондирования атмосферы определить коэффициент стратификации, а затем, используя зависимость количества облаков от коэффициента стратификации (рис.8.1), найти количество облаков. На графике рис.8.1 по вертикали отложено количество ожидаемой облачности, по горизонтали – коэффициент стратификации  $K_{стр}$ . Линия 1 на рисунке обозначает наиболее вероятное количество облаков.

Коэффициент стратификации определяется по следующей эмпирической формуле:

$$K_{\text{стр}} = \frac{0,3\Delta TR_{\text{сп}}}{(T - T_d)_{\text{сп}} + (1 - \gamma_{\text{сп}})}, \quad (8.1)$$

где  $\Delta T$  – разность между максимальной дневной температурой и температурой в период утреннего подъема радиозонда (00ч сгв); максимальная температура воздуха на день прогнозируется общепринятым методом;  $R_{\text{сп}}$  – среднее значение относительной влажности в слое от верхней границы приземной инверсии (практически от 300-500 м) до высоты 3000 м;  $(T - T_d)_{\text{сп}}$  – среднее значение разности между температурой и точкой росы в момент подъема радиозонда в слое от земли до 200-500 м. Средняя разность берется в слое от земли до 500 м, если разность  $(T - T_d)$  у земли меньше или равна  $1^\circ\text{C}$ , или больше или равна  $4^\circ\text{C}$ , и в слое от земли до 200 м – в остальных случаях (если такой информации нет, то берутся только данные о дефиците температуры точки росы у земли);  $(1 - \gamma_{\text{сп}})$  – разность сухоадиабатического градиента и среднего градиента температуры в слое от верхней границы приземной инверсии до высоты 3000 м.

Из приведенной формулы следует, что если известен суточный ход температуры, то можно оценить количество конвективных облаков в любое время суток. В этом случае вместо  $T$  берется ожидаемая в интересующий нас срок температура.

В соответствии с приведенной методикой, используя график рис.8.1, определить количество конвективной облачности для примера, указанного в приложении (задание1).

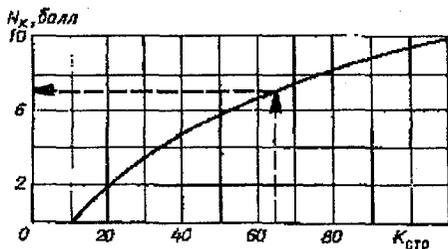


Рис.8.1. К определению количества конвективной облачности

2. При отсутствии хорошо выраженной адвекции тепла и в условиях развитого турбулентного обмена высота нижней границы облаков нижнего яруса (за исключением кучевых и кучево-дождевых облаков) может быть рассчитана по одной из следующих формул:

$$H = 122 (T - T_d), \quad (8.2)$$

$$H = 5400 (2 - \lg R), \quad (8.3)$$

$$H = 22 (107 - R), \quad (8.4)$$

где  $H$  – высота облаков, м;  $T$  – температура воздуха у земли, °С;  $T_d$  – температура точки росы у земли, °С;  $R$  – относительная влажность у поверхности земли, %.

Если имеются данные зондирования атмосферы, то для определения высоты нижней границы облаков можно использовать следующее выражение:

$$H = (15,3 \frac{1-R_0}{\gamma_{cp}} + 28) \pm 44. \quad (8.5)$$

Здесь  $R_0$  – относительная влажность у поверхности земли (в сотых долях единицы);  $\gamma_{cp}$  – средний вертикальный градиент температуры воздуха под слоем инверсии, °С/1 м.

Решить примеры, указанные в задании 2 приложения.

3. Низкая облачность чаще всего образуется в холодное время, когда температура подстилающей поверхности близка к 0°С или отрицательна. Повторяемость низкой облачности возрастает при адвекции влажного и теплого воздуха над холодной подстилающей поверхностью. Вероятность появления низких облаков можно определить по прогнозу температуры воздуха у поверхности земли с помощью графика, предложенного А.К. Лугченко (рис.8.2). По оси абсцисс этого графика отложена температура воздуха, а по оси ординат – прогнозируемая температура на сутки вперед. Кривые на этом графике обозначают вероятность (%) появления низких облаков высотой менее 200 м.

На основании этого графика, используя значения прогнозируемой температуры, можно предусмотреть возникновение или сохранение низких облаков или тумана в утренние часы следующих суток. Графиком пользуются следующим образом. Из точки, соответствующей фактической температуре следует опуститься вертикально вниз, а из точки, соответствующей прогнозируемой температуре необходимо сместиться влево параллельно оси абсцисс до пересечения с изолинией фактической температуры. По точке пересечения определяют вероятность (%) возникновения или сохранения низких облаков.

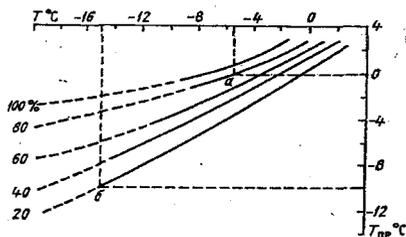


Рис.8.2 График для определения вероятности появления облаков высотой менее 200 м (по методу А.К. Лугченко)

Так, например, если в 6 часов фактическая температура равна  $-6,0^{\circ}\text{C}$ , а к 6 часам следующих суток ожидается ее повышение до  $0^{\circ}\text{C}$ , то вероятность появления низких облаков составит 80 %; при междусуточном повышении температуры от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$  вероятность появления низкой облачности составит только 20 %.

Решить примеры, предложенные в задании 3 приложения.

3. В условиях медленно изменяющейся синоптической обстановки, когда прогноз низких облаков связан с хорошо выраженным переносом воздушных масс, для определения высоты облаков используется график Е.И. Гоголевой (рис. 8.3). Этот график отражает зависимость высоты облаков от разности температуры воздуха в пункте прогноза и температуры точки росы поступающего воздуха.

В тех случаях, когда поступающая воздушная масса характеризуется более высокой температурой точки росы, чем температура подстилающей поверхности, будет происходить увеличение относительной влажности и понижение облачности или появление низких облаков. Наоборот, если температура точки росы поступающего воздуха ниже, чем температура воздуха в данном районе, следует ожидать уменьшение относительной влажности и повышения высоты облаков или их растекания. На графике рис.8.3 по вертикальной оси отложено значение температуры в пункте, для которого составляется прогноз, а на горизонтальной оси – температура точки росы в начале траектории, т.е. температура воздушной массы, которая поступит в пункт прогноза через 12 часов. Наклонные сплошные линии ограничивают области с различной высотой облаков. Например, верхняя наклонная линия ограничивает область с высотой облаков более 300 м (слева) и менее 300 м (справа).

Для прогноза нижней границы облачности по графику рис. 8.3 необходимо предварительно с помощью основных или кольцевых карт погоды определить район, откуда поступают воздушные массы. Достаточно точно это можно сделать на основании анализа карт  $AT_{850}$  или  $AT_{700}$ , приняв за траектории воздушных частиц изогипсы. При использовании карты  $AT_{700}$  скорость переноса рекомендуется принимать равной 0,7-0,8 от среднего значения скорости, определяемой на этом уровне. Если карты барической топографии отсутствуют, то для расчета следует брать среднее значение скорости геострофического ветра.

Решить примеры, предложенные в задании 4 приложения.

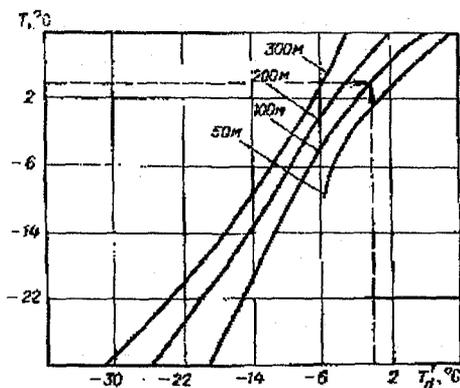


Рис.8.3. График для прогноза высоты нижней границы облаков по методу Е.И. Гоголевой

5. Оценить вероятность понижения облачности в ближайшие 2 ч по методу М.В. Рубинштейна для тех случаев, когда через интересующий нас район не проходят атмосферные фронты и не выпадают осадки.

По графику рис. 8.4 от значения фактической скорости ветра смещаемся вправо до исходной высоты нижней границы облаков, затем поднимаемся вертикально вверх до пересечения с изолинией прогностического значения изменения дефицита точки росы  $\Delta = D_{np} - D_{\phi}$  (если этих данных нет – то до жирной наклонной кривой) и с вертикальной оси номограммы отсчитываем вероятность  $P$  (%) понижения облаков в ближайшие 2 часа. Используя полученное значение вероятности и данные таблицы, определяем прогностическую высоту нижней границы облаков.

**Прогнозируемая высота облаков (м)  
на ближайшие 2 ч (по М.В. Рубинштейну)**

Исходная высота облаков, м	$P < 35\%$	$P > 35\%$
100 - 150	100 - 150	100 - 150, временами 50-100
150 - 200	150 - 200	150-200, временами 100-150
200 - 300	200 - 300	200-300, временами 150-200

Решить примеры, предложенные в задании 5 приложения.

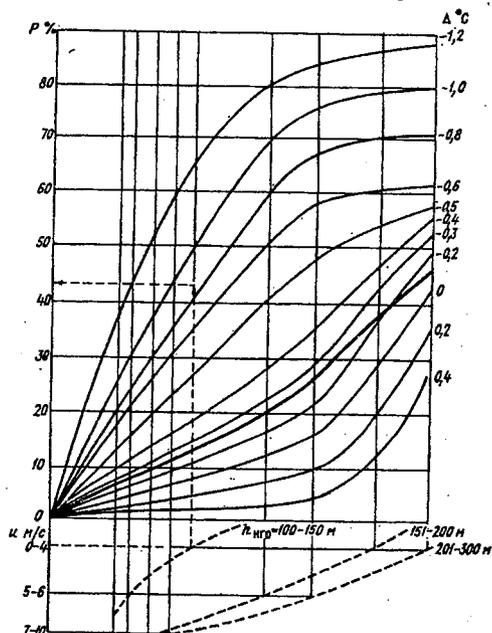


Рис. 8.4. К прогнозу низкой облачности по методу М.В. Рубинштейна

6. Для прогноза верхней границы облачности используют сведения экипажей воздушных судов, находящихся в воздухе, данные радиолокационных наблюдений или температурно-ветрового зондирования атмосферы. При отсутствии этой информации высоту верхней границы внутримассовой слоистой и слоисто-кучевой облачности можно оценить по формуле

$$H_s = 2(H_n + 100), \quad (8.6)$$

где  $H_s$  и  $H_n$  - соответственно верхняя и нижняя границы облачности, м.

Решить пример, указанный в задании 6 приложения.

### Отчетный материал

1. Отдельный лист, на котором записан вариант задания, пронумерованы примеры и изложены ответы.
2. Решение первого примера записывается подробно с подстановкой всех значений, необходимых для определения величины коэффициента стратификации  $K_{стр.}$ .

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Примеры для диагноза и прогноза облачности

**ЗАДАНИЕ 1.** Определить возможность выполнения полета на аэрофотосъемку в 12 и в 15 часов.

#### Вариант 1

Прогноз температуры:

$$T_{12ч} = 20,0^{\circ}\text{C}, \quad T_{15ч} = 24,5^{\circ}\text{C}.$$

$H$ , км	$P$ , гПа	$T$ , °C	$T_d$ , °C	$R$ , %
1	2	3	4	5
0	990	13,6	12,1	90
0,3	970	15,9	12,6	85
0,8	925	12,1	11,9	96
1,5	850	10,1	3,4	56
2,3	785	2,4	-1,0	63
3,0	700	2,3	-3,0	67
5,0	550	-2,6	-7,0	74

#### Вариант 2

Прогноз температуры:

$$T_{12ч} = 25,7^{\circ}\text{C},$$

$$T_{15ч} = 29,0^{\circ}\text{C}.$$

0	999	14,1	12,6	90
0,25	975	16,4	13,6	90
0,76	929	12,9	12,6	95
1,46	850	9,3	3,0	60
2,60	780	3,4	0,0	63
3,50	700	1,8	-4,0	72
5,50	500	-3,6	-8,2	72

#### Вариант 3

Прогноз температуры:

$$T_{12ч} = 17,1^{\circ}\text{C},$$

$$T_{15ч} = 21,8^{\circ}\text{C}.$$

0	991	13,3	11,8	90
0,34	965	15,5	11,8	81
0,85	920	13,1	12,7	94
1,55	850	11,1	4,0	53
2,00	789	1,6	-1,8	63
2,60	700	2,7	-2,2	63
4,65	590	-1,8	-6,0	76

**Вариант 4**

Прогноз температуры:

$$T_{12v} = 18,3^{\circ}\text{C},$$

$$T_{15v} = 22,2^{\circ}\text{C}.$$

0	993	13,5	12,0	89
0,32	967	15,6	12,0	82
0,83	922	11,6	11,0	92
1,53	850	10,7	3,7	54
2,50	781	3,2	-0,2	63
3,40	700	1,9	-3,8	71
4,70	580	-2,0	-6,2	76

**Вариант 5**

Прогноз температуры:

$$T_{12v} = 21,5^{\circ}\text{C},$$

$$T_{15v} = 25,6^{\circ}\text{C}.$$

1	2	3	4	5
0	996	13,8	12,3	90
0,28	972	16,1	13,0	87
0,78	926	12,3	12,1	96
1,49	850	9,9	3,3	57
2,10	788	1,8	-1,6	63
2,70	700	1,6	-2,4	70
5,40	510	-3,4	-8,0	72

**Вариант 6**

Прогноз температуры:

$$T_{12v} = 19,4^{\circ}\text{C},$$

$$T_{15v} = 23,3^{\circ}\text{C}.$$

0	995	13,7	12,2	89
0,29	971	16,0	12,8	86
0,79	927	12,5	12,0	93
1,48	850	9,7	3,2	58
2,46	782	3,0	-1,4	63
3,30	700	2,0	-3,6	70
5,10	540	-2,8	-7,2	74

**Вариант 7**

Прогноз температуры:

$$T_{12v} = 16,2^{\circ}\text{C},$$

$$T_{15v} = 20,9^{\circ}\text{C}.$$

0	994	13,2	11,7	89
0,31	968	15,7	12,2	88
0,82	923	11,7	11,5	96
1,52	850	10,5	3,6	59
2,20	787	2,0	-1,4	63
2,80	700	1,5	-2,4	69
4,75	570	-2,2	-6,6	74

**Вариант 8**

Прогноз температуры:

$T_{12ч} = 23,8^{\circ}\text{C},$

$T_{15ч} = 27,4^{\circ}\text{C}.$

0	997	13,9	12,4	89
0,27	973	16,2	13,2	88
0,77	928	12,7	12,5	96
1,47	850	9,5	3,1	59
2,40	783	2,8	-0,6	63
3,20	700	2,1	-3,4	69
4,90	560	-2,4	-6,8	74

**Вариант 9**

Прогноз температуры:

$T_{12ч} = 22,6^{\circ}\text{C},$

$T_{15ч} = 27,4^{\circ}\text{C}.$

0	992	13,4	11,9	90
0,33	966	15,8	12,4	84
0,84	921	11,5	11,0	93
1,54	850	10,9	3,8	53
2,25	786	2,2	-1,2	63
2,90	700	1,4	-2,8	71
5,20	530	-3,0	-7,5	73

**Вариант 10**

Прогноз температуры:

$T_{12ч} = 24,9^{\circ}\text{C},$

$T_{15ч} = 28,1^{\circ}\text{C}.$

0	998	14,0	12,5	89
0,26	974	16,3	13,4	89
0,81	924	12,0	11,8	96
1,51	850	10,3	3,5	55
2,35	784	2,6	-0,8	63
3,05	700	2,2	-3,2	68
5,30	520	-3,2	-7,7	73

**ЗАДАНИЕ 2.** Определить возможность вылета самолета санитарной авиации при установленном минимуме погоды  $100 \times 1000$ .

а)

	Исходные данные	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пример 1	$T, ^{\circ}\text{C}$ $T_d, ^{\circ}\text{C}$	11,8 10,2	15,9 12,5	12,0 10,6	13,0 10,8	14,7 12,1	15,0 12,6	13,6 11,1	12,4 11,0	11,5 10,1	16,4 13,0

Пример 2	$T, ^\circ\text{C}$	16,4	11,5	12,4	15,0	13,6	11,8	14,7	15,9	13,0	12,0
	$T_d, ^\circ\text{C}$	13,1	10,0	11,7	12,3	11,3	10,4	12,0	12,8	10,9	11,5

б)

Вариант.... 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

$R_0, \%$  .....88 96 86 92 89 91 90 87 94 85

$\gamma_{ср}, ^\circ\text{C}/1\text{м} \dots 0,0066 0,0060 0,0069 0,0062 0,0065 0,0067 0,0064 0,0063$

0,0068 0,0061

**ЗАДАНИЕ 3. Определить возможность выполнения полета по маршруту на самолете, экипаж которого имеет минимум погоды  $100 \times 1000$ .**

№ примера	Исходные данные	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$T_\phi, ^\circ\text{C}$	-15,0	-5,5	-12,6	-9,2	-11,8	-6,4	-7,5	-8,0	-13,5	-14,4
	$T_{np}, ^\circ\text{C}$	-3,0	-2,0	0	-3,0	0	1,0	-1,0	0	-3,0	1,0
2	$T_\phi, ^\circ\text{C}$	-7,1	-14,5	-5,6	-9,4	-10,0	-13,1	-12,0	-10,4	-7,2	-13,9
	$T_{np}, ^\circ\text{C}$	0	-1,0	1,0	-2,0	-2,0	0	-3,0	-2,0	-2,0	0
3	$T_\phi, ^\circ\text{C}$	-11,2	-6,1	-10,8	-13,3	-6,6	-5,9	-6,3	-12,4	-6,2	-10,6
	$T_{np}, ^\circ\text{C}$	-3,0	0	-1,0	1,0	1,0	-1,0	-2,0	-3,0	-1,0	-3,0
4	$T_\phi, ^\circ\text{C}$	-5,3	-14,0	-7,7	-11,5	-13,0	-6,8	-5,8	-10,2	-5,7	-8,1
	$T_{np}, ^\circ\text{C}$	1,0	-3,0	-2,0	-1,0	-3,0	-2,0	0	-1,0	1,0	-2,0

**ЗАДАНИЕ 4.** Определить возможность визуального полета на высоте 100 м для выполнения авиационно-химических работ.

№ примера	Исходные Данные	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$T_{\phi}, ^\circ\text{C}$	-6,3	-5,4	-10,5	-5,9	-9,6	-7,8	-7,2	-7,9	-10,4	-9,6
	$T_d, ^\circ\text{C}$ (через 12 ч)	-4,2	-2,9	-10,0	-3,8	-8,6	-7,5	-5,3	-6,4	-9,7	-9,3
2	$T_{\phi}, ^\circ\text{C}$	-10,2	-9,0	-5,4	-10,2	-8,7	-9,1	-10,6	-5,9	-6,3	-8,8
	$T_d, ^\circ\text{C}$ (через 12 ч)	-9,3	-8,6	-3,8	-9,7	-6,4	-2,9	-10,0	-4,2	-5,3	-7,5

**ЗАДАНИЕ 5.** Определить возможность посадки самолета на аэродроме через 2 ч, если экипаж самолета имеет минимум 100×1000.

№ примера	Исходные данные	Вариант									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$H_{\text{нзр.ф}}, \text{M}$	140	170	90	165	185	250	100	15	240	130
	$u_{\phi}, \text{M/c}$	3	4	2	6	8	9	3	7	5	1
	$D_{\text{пр}} - D_{\phi}, ^\circ\text{C}$	-1,0	0,4	-1,0	-1,2	0,0	-0,3	0,0	0,2	-0,3	-0,8
2	$H_{\text{нзр.ф}}, \text{M}$	180	210	225	190	120	145	200	195	215	205
	$u_{\phi}, \text{M/c}$	2	10	8	7	5	1	6	3	4	7
	$D_{\text{пр}} - D_{\phi}, ^\circ\text{C}$	0,0	-0,8	-1,2	-0,5	-1,2	0,4	-0,5	-1,0	-1,2	-1,0

**ЗАДАНИЕ 6.** Определить нижний эшелон полета за облаками с курсом 90 и 270° для заданного маршрута.

Исходные данные: высота нижней границы облаков  $H_{\text{нзр}}$  (м).

Вариант	Пример				Вариант	Пример			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	630	470	260	110	6	600	500	290	170
2	580	420	210	190	7	660	230	140	440
3	670	510	300	150	8	450	160	240	620
4	590	430	220	180	9	490	650	130	280
5	640	480	270	120	10	250	460	610	100

## ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ ТУМАНОВ

Цель работы: изучить методы диагноза и прогноза туманов, используемые на авиационных метеорологических станциях.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТУМАНОВ. ВЛИЯНИЕ ТУМАНОВ НА ПОЛЕТЫ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Процессы конденсации и сублимации водяного пара в атмосфере происходят постоянно. При этом образуются мельчайшие капли воды или кристаллы льда, которые значительно ухудшают видимость.

Туманом называется помутнение приземного слоя воздуха из-за наличия в нем взвешенных капель воды, ледяных кристаллов или их смеси, при котором дальность видимости становится менее 1 км хотя бы в одном направлении. Аналогичное явление с видимостью от 1 до 10 км называется дымкой.

Туманы и густые дымки оказывают большое влияние на работу авиации. Они могут привести к закрытию аэропортов, возврату самолетов и вертолетов, задержке рейсов и даже к авиационным происшествиям. В результате авиапредприятие может понести существенный экономический ущерб. Поэтому при метеообеспечении авиации серьезное внимание уделяется диагнозу и прогнозу туманов.

Следует отметить, что на образование туманов и дымки большое влияние оказывают местные особенности. Так, при одинаковых метеорологических и синоптических условиях в одних районах туман может наблюдаться, а в других – нет.

Важными микрофизическими характеристиками тумана являются агрегатное состояние частиц, преобладающие размеры капель и кристаллов, объемная концентрация частиц и водность. Определение и количественный учет этих характеристик затруднен и поэтому в настоящее время прогноз туманов основывается на эмпирических данных.

По *синоптическому положению*, при котором возникают туманы, они делятся на фронтальные и внутримассовые.

В зависимости от *вертикальной протяженности* туманы подразделяются на поземные (с верхней границей до 2 м), низкие (2-10 м), средние (10-100 м) и высокие (с верхней границей, превышающей 100 м) туманы.

По *степени ухудшения горизонтальной видимости* туманы принято делить на слабые (видимость 500-1000 м), умеренные (видимость 200-500 м), сильные (видимость 50-200 м) и очень сильные (видимость менее 50 м).

Генетическая классификация подразумевает условное деление туманов на туманы охлаждения, туманы испарения и туманы смешения.

В прогнозе погоды появление тумана любого вида может указываться в том случае, если в прогностический период ожидается температура, равная или более низкая, чем температура туманообразования  $T_T$ , т.е. в условиях, когда  $T \leq T_T$ .

### *Контрольные вопросы*

1. Какое метеорологическое явление называется туманом?
2. Перечислите основные причины возникновения туманов.
3. Как подразделяются туманы в зависимости от их интенсивности и вертикальной мощности?

### *Материалы для работы*

1. Примеры для прогноза туманов, указанные в приложении 9.
2. Миллиметровая бумага.

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 352 с.
3. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1992. – 272 с.
4. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 106–115.

### *Порядок выполнения работы*

1. Определить время закрытия аэропорта, если известно, что минимум аэродрома равен: по высоте облаков 100 м, по видимости на ВПП 1000 м (100×1000).
2. Определить возможность выполнения ночных полетов на аэродроме при установленном минимуме погоды для посадки 100×1000.
3. Определить возможность посадки самолетов на аэродроме, имеющем минимум погоды 50×500.
4. Определить, будет ли закрыт аэропорт при установленном минимуме погоды 60×800.
5. Определить возможность выполнения визуальных полетов над морем и в прибрежной зоне по данным о температуре воздуха и температуре воды.

1. Для уточнения времени образования радиационного тумана рекомендуется построить график, учитывающий изменение температуры воздуха и температуры точки росы на станции. Исходными данными для построения графика служат значения температуры воздуха и точки росы за два – три срока наблюдений, близких ко времени захода солнца.

Для построения графика используется специальный бланк или миллиметровая бумага. На горизонтальной оси графика откладывается время, а на вертикальной – температура воздуха  $T$ , температура точки росы  $T_d$  и температура туманообразования  $T_T$ . Рекомендуются масштаб графика: по вертикали 1 см – 1°C, по горизонтали 1 см – 1 ч. На графике в соответствующем масштабе по данным наблюдений отмечаются три указанные выше температуры. Температура туманообразования рассчитывается по одной из формул:

$$T_T = T_d - 1 \quad \text{при } T_d > 0^\circ\text{C} \quad (9.1)$$

или

$$T_T = T_d - 2 \quad \text{при } T_d < 0^\circ\text{C}. \quad (9.2)$$

Нанесенные на график точки, соответствующие значениям  $T$ ,  $T_d$  и  $T_T$ , соединяются отрезками прямых. Полученные отрезки экстраполируются. При этом считается, что ход температуры воздуха и температуры точки росы будет аналогичен ходу этих величин между последними двумя сроками (на графике все три линии необходимо продлить по направлению отрезков, соединяющих два последних наблюдения). Если кривая температуры воздуха пересекает кривые точек росы и температуры туманообразования до момента восхода солнца, то в этих случаях следует ожидать образование дымки или тумана соответственно. Время образования дымки или тумана определяется в точках пересечения кривых  $T$  и  $T_d$  а также  $T$  и  $T_T$ . Использование данных наблюдений за последующие сроки позволяет уточнить возможность образования тумана и время его возникновения.

Для прогноза тумана методом экстраполяции выполнить один из вариантов задания 1 приложения.

2. Для определения возможности выполнения ночных полетов на аэродроме при установленном минимуме погоды  $100 \times 1000$  следует воспользоваться методом Н.В. Петренко для прогноза туманов. В этом методе для определения температуры туманообразования используется приближенная зависимость между температурой точки росы во время захода солнца  $T_d$  и температурой воздуха при появлении тумана  $T_T$ . Н.В. Петренко установил, что среднее понижение температуры точки росы от захода солнца до появления тумана составляет 1°C при положительных значениях температуры точки росы и 2°C при отрицательных значениях (см. формулы 9.1 и 9.2).

На основе приведенной выше зависимости был построен график прогноза радиационного тумана (рис.9.1). На горизонтальной оси графика отложены значения температуры точки росы  $T_d$  в момент наблюдений при заходе солнца в интервале от  $-30$  до  $30^\circ\text{C}$ . На вертикальной оси – температура туманообразования  $T_T$  и минимальная температура в интервале от  $-30$  до  $25^\circ\text{C}$ . Правый верхний квадрат охватывает область положительных значений температур воздуха и точки росы, левый нижний – область отрицательных значений этих величин.

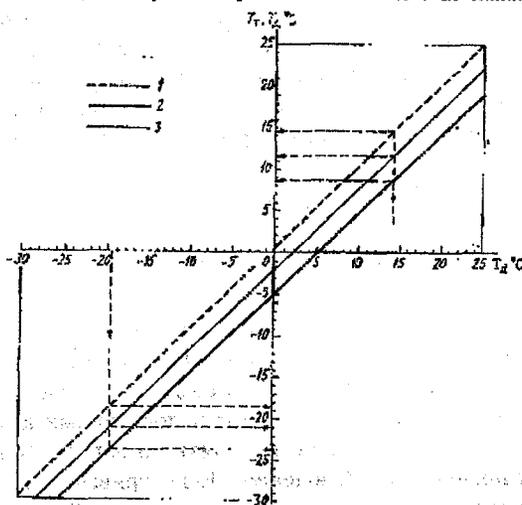


Рис.9.1. График для прогноза радиационного тумана по методу Н.В. Петренко.

1 – дымка, 2 – слабый туман, 3 – сильный туман.

Штриховая линия 1 является теоретической границей насыщения ( $T = T_d$ ) и называется линией дымки. Сплошная линия 2 является границей туманообразования и называется линией тумана. Расстояние по горизонтали между линиями 1 и 2 пропорционально величине охлаждения воздуха от температуры, равной данной температуре точки росы, до температуры туманообразования. Между линиями 1 и 2 заключена область дымки или слабого (умеренного) тумана.

График Н.В. Петренко позволяет:

1. Определить возможность образования тумана по вечернему значению температуры точки росы и прогнозу минимальной температуры воздуха на ночь. Для этого на графике необходимо найти точку пересечения линий, проходящих через значение температуры точки росы и прогнозируемой минимальной температуры воздуха. Если эта точка будет лежать выше линии 1 (над границей насыщения), то тумана быть не может. Если точка пересечения

указанных температур лежит между линиями 1 и 2 (граница тумана), то следует ожидать дымку, а ниже линии 2 – туман.

2. Определить температуру образования тумана. Для этого достаточно от данного значения температуры точки росы подняться вверх до линии тумана, затем сделать отсчет температуры туманообразования по вертикальной шкале.

Если по синоптическим условиям ожидается безоблачная погода или прояснение при слабом ветре у земли, а по прогнозу минимальная температура ниже температуры туманообразования, то следует прогнозировать туман. Если ожидается минимальная температура воздуха выше температуры туманообразования и вечернего значения температуры точки росы, то не следует прогнозировать ни тумана, ни дымки. Если ожидается минимальная температура воздуха выше температуры туманообразования, но ниже исходного значения точки росы и температуры образования дымки, то следует ожидать дымку.

Графический метод Н.В.Петренко дает положительные результаты при условии однородности воздушной массы, когда на ее влагосодержание не будет влиять испарение с подстилающей поверхности или осадки.

Для прогноза тумана по методу Н.В. Петренко выполнить один из вариантов задания 2 приложения.

3. Для определения возможности посадки самолетов на аэродроме, имеющем минимум 50×500, следует воспользоваться номограммой, предложенной Б.В. Кирюхиным (рис.9.2).

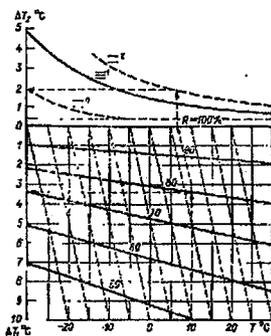


Рис.9.2. Номограмма Б.В. Кирюхина для прогноза туманов.

Номограмма позволяет найти по значению температуры и относительной влажности воздуха необходимое понижение температуры для достижения насыщения ( $\Delta T_1$ ) и дополнительное понижение температуры, необходимое для возникновения тумана определенной интенсивности. ( $\Delta T_2$ )

Общее понижение температуры, необходимое для образования тумана  $\Delta T_T$ , будет равно

$$\Delta T_T = \Delta T_1 + \Delta T_2, \quad (9.3)$$

а, следовательно,

$$T_T = T - \Delta T_T. \quad (9.4)$$

Величины  $\Delta T_1$  и  $\Delta T_2$  определяются по номограмме рис.9.2, затем вычисляется значение  $T_T$  и сравнивается с минимальной температурой воздуха. Порядок определения понижения температуры, необходимого для образования тумана, показан на рисунке.

Для прогноза тумана по методу Б.В. Кирюхина выполнить один из вариантов задания 3 приложения.

4. Для определения возможности закрытия аэропорта при установленном минимуме погоды 60x800 следует воспользоваться методикой, предложенной А.С. Зверевым. Эта задача по методу А.С. Зверева решается следующим образом:

1. По графику рис.9.3 в зависимости от дефицита точки росы у земли с учетом прогностической скорости ветра определяется ночное понижение температуры  $\Delta T$ .

2. Полученное значение  $\Delta T$  уточняется по результатам прогноза облачности (номограмма в верхней части рис.9.3). С учетом прогноза облачности рассчитывается ночное понижение температуры

$$\Delta T_1 = m \Delta T \quad \text{и} \quad T_{\text{мин}} = T - \Delta T_1. \quad (9.5)$$

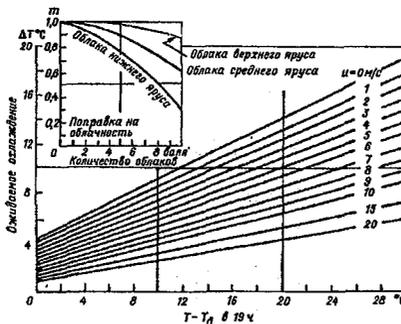


Рис.9.3. График для определения ночного понижения температуры.

3. По диаграмме рис.9.4 определяется дополнительное понижение температуры ниже точки росы  $\Delta T_d$ , необходимое для возникновения тумана различной интенсивности, и рассчитывается температура туманообразования

$$T_T = T_d - \Delta T_d. \quad (9.6)$$

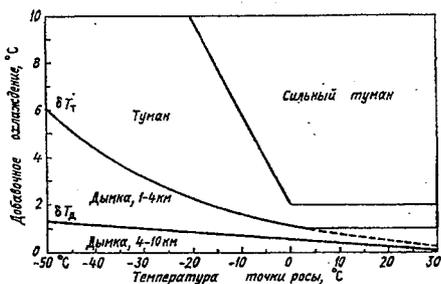


Рис. 9.4. График для вычисления температуры туманообразования.

1. Сравниваются значения минимальной температуры  $T_{\text{мин}}$  и температуры туманообразования  $T_{\text{т}}$  и делается заключение о возможности образования тумана: при  $T_{\text{т}} > T_{\text{мин}}$  в прогнозе следует указывать туман.

2. По значениям  $T_d$  и  $\Delta T_d = T_d - T_{\text{мин}}$  с помощью графика рис. 9.5 определяется минимальная видимость в тумане. По вертикальной оси графика откладываются значения  $T_d$  в 18-20 ч, наклонные линии соответствуют величине  $\Delta T_d$ , а горизонтальные – минимальной видимости в тумане.

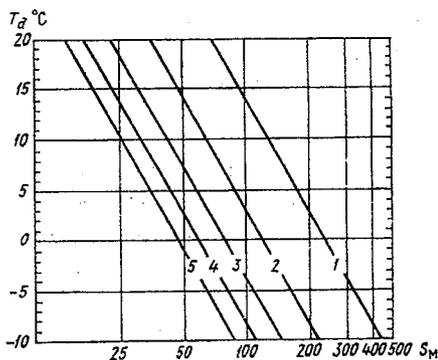


Рис. 9.5. График для определения минимальной видимости в тумане.

Для прогноза тумана по методу А.С. Зверева выполнить один из вариантов задания 4 приложения.

5. Для определения возможности визуальных полетов над морем и в прибрежной зоне по данным о температуре воздуха и температуре воды следует

воспользоваться методом Л.А.Ключниковой для прогноза адвективных туманов (рис.9.6). По горизонтальной оси этого графика отложена водность в тумане и указана его интенсивность, по вертикальной – разность температур воды и суши; наклонные линии соответствуют температуре воды.

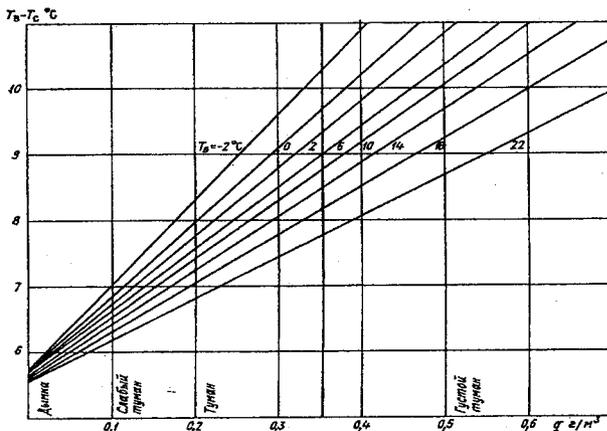


Рис.9.6. Номограмма для прогноза тумана по методу Л.А. Ключниковой.

Температура водной поверхности для прогноза тумана по этому методу берется за утренний срок и обновляется по мере поступления новых данных (на реке одного раза в сутки). Под температурой суши понимается температура воздуха в психрометрической будке в срок, для которого разрабатывается прогноз тумана.

Зная температуру воды и суши спрогнозировать туман достаточно просто. Метод дает хорошие результаты примерно в 100-километровой прибрежной зоне при направлении ветра с моря на сушу.

Для прогноза тумана по методу Л.А. Ключниковой выполнить один из вариантов задания 5 приложения.

### Отчетный материал

1. Результаты решения всех примеров указанного преподавателем одного из вариантов приложения.
2. Ответы изложить письменно на отдельном листе.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Задания и варианты примеров для определения  
возможности возникновения тумана

**Задание 1.** Определить время закрытия аэропорта при минимуме аэродрома 100×1000.

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Срок наблюдения 19 ч										
$T, ^\circ\text{C}$	17,0	0,0	2,3	12,7	7,8	10,1	18,0	15,2	17,5	5,0
$T_d, ^\circ\text{C}$	12,1	-4,9	-3,2	7,6	2,8	5,0	12,9	10,0	12,4	0,0
Срок наблюдения 19 ч 30 мин										
$T, ^\circ\text{C}$	16,0	-1,0	-1,2	11,6	6,9	9,0	17,0	14,1	16,4	3,9
$T_d, ^\circ\text{C}$	12,0	-5,0	-2,8	7,6	2,9	5,1	13,0	10,1	12,3	-0,1
Срок наблюдения 20ч										
$T, ^\circ\text{C}$	15,1	-2,1	0,4	10,5	5,7	8,1	15,8	13,0	15,0	2,8
$T_d, ^\circ\text{C}$	11,9	-5,2	-2,7	7,6	3,0	5,2	12,9	10,1	12,1	-0,3

**Задание 2.** Определить возможность выполнения ночных полетов на аэродроме при минимуме погоды для посадки 100×1000.

Вариант	Исходные данные	Пример					
		1	2	3	4	5	6
1	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	9,4	6,4	11,7	-10,3	-17,0	-7,2
	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	11,0	3,0	7,0	-11,0	-19,0	-12,0
2	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	5,0	12,1	8,5	-6,1	-9,6	-17,4
	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	4,5	5,6	2,8	-9,9	-13,9	-20,6
3	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	8,2	5,3	11,9	-9,0	-16,8	-7,8
	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	3,2	1,1	6,3	-15,5	-23,7	-14,9
4	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	11,6	8,3	5,5	-15,2	-6,7	-10,3
	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	6,2	2,5	0,5	-22,7	-11,9	-17,0
5	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	7,1	11,5	5,7	-8,0	-15,6	-9,9
	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	1,9	6,0	-0,4	-14,3	-21,8	-16,9
6	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	9,9	12,3	6,8	-12,1	-9,4	-7,4
	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	3,4	6,7	0,5	-19,3	-14,8	-12,9
7	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	12,2	9,8	6,6	-18,1	-6,5	-10,5
	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	5,7	3,5	0,0	-25,2	-13,4	-16,5
8	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	13,0	6,9	11,8	-6,3	-17,7	-10,7
	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	7,6	1,5	5,1	-11,4	-24,8	-17,5
9	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	10,1	5,2	9,7	-9,2	-10,8	-7,6
	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	3,2	-1,2	6,3	-15,0	-17,1	-13,2
10	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	11,4	8,0	9,6	-15,5	-7,9	-16,0
	$T_{\text{мин}}, ^\circ\text{C}$	4,7	1,9	4,0	-21,0	-14,1	-24,5

З а д а н и е 3. Определить возможность посадки самолетов при минимуме погоды 50×500.

Вариант	Исходные данные	Пример					
		1	2	3	4	5	6
1	$T, ^\circ\text{C}$	4,0	-0,3	-5,2	-7,9	-7,0	-2,1
	$R, \%$	90	86	75	82	65	95
	$T_{\text{мин.лр}}, ^\circ\text{C}$	0	-5,0	-7,0	-12,0	-13,0	-6,0
2	$T, ^\circ\text{C}$	10,1	-1,6	-6,1	-8,0	-12,0	-18,5
	$R, \%$	71	62	54	85	90	95
	$T_{\text{мин.лр}}, ^\circ\text{C}$	3,0	-10,0	-18,0	-13,0	-16,0	-22,0
3	$T, ^\circ\text{C}$	1,2	-1,4	-2,3	-10,5	-7,4	-20,4
	$R, \%$	83	74	65	54	92	88
	$T_{\text{мин.лр}}, ^\circ\text{C}$	-3,0	-8,0	-11,0	-20,0	-12,0	-25,0
4	$T, ^\circ\text{C}$	9,3	-0,7	-7,8	-20,2	-12,8	-25,0
	$R, \%$	91	80	74	68	57	85
	$T_{\text{мин.лр}}, ^\circ\text{C}$	5,0	-5,0	-15,0	-28,0	-22,0	-29,0
5	$T, ^\circ\text{C}$	8,4	-1,0	-6,9	-17,4	-11,7	-3,4
	$R, \%$	74	65	90	58	82	95
	$T_{\text{мин.лр}}, ^\circ\text{C}$	2,0	-9,0	-11,0	-28,0	-18,0	-7,0
6	$T, ^\circ\text{C}$	2,8	-1,2	-7,5	-14,1	-10,3	-17,8
	$R, \%$	65	88	72	91	59	85
	$T_{\text{мин.лр}}, ^\circ\text{C}$	-6,0	-5,0	-15,0	-20,0	-19,0	-22,0
7	$T, ^\circ\text{C}$	3,5	-0,7	-8,4	-13,8	-11,0	-19,2
	$R, \%$	80	55	67	72	88	94
	$T_{\text{мин.лр}}, ^\circ\text{C}$	-2,0	-12,0	-15,0	-20,0	-15,0	-22,0
8	$T, ^\circ\text{C}$	5,4	-0,9	-9,2	-12,6	-16,4	-4,8
	$R, \%$	78	74	58	63	84	90
	$T_{\text{мин.лр}}, ^\circ\text{C}$	1,0	-6,0	-18,0	-20,0	-22,0	-10,0
9	$T, ^\circ\text{C}$	6,5	-1,8	-10,1	-18,2	-15,0	-6,5
	$R, \%$	98	59	75	61	82	68
	$T_{\text{мин.лр}}, ^\circ\text{C}$	3,0	-10,0	-16,0	-27,0	-20,0	-15,0
10	$T, ^\circ\text{C}$	7,7	-2,3	-16,0	-7,5	-5,6	-17,1
	$R, \%$	81	64	72	56	94	78
	$T_{\text{мин.лр}}, ^\circ\text{C}$	3,0	-10,0	-25,0	-20,0	-9,0	-25,0

З а д а н и е 4. Определить, будет ли закрыт аэропорт при минимуме погоды 60×800.

Вариант	Исходные данные	Пример				
		1	2	3	4	5
1	$T$ (19 ч), °С	17,0	4,1	13,0	-9,7	-6,0
	$T_d$ (19 ч), °С	14,1	-0,5	10,9	-10,4	-7,7
	Прогноз Облачности	ясно	4 балла, средняя	5 баллов, верхняя	5 баллов, нижняя	ясно
	Прогноз ветра, м/с	штиль	3	1	2	2
2	$T$ (19 ч), °С	28,0	4,5	8,0	-11,4	-8,4
	$T_d$ (19 ч), °С	16,2	2,5	3,8	-13,4	-10,0
	Прогноз Облачности	7 баллов, нижняя	4 балла, средняя	10 баллов, верхняя	2 балла, средняя	ясно
	Прогноз ветра, м/с	5	3	штиль	2	1
3	$T$ (19 ч), °С	21,0	16,3	10,8	-1,4	-8,2
	$T_d$ (19 ч), °С	19,8	8,3	9,1	-2,8	-10,0
	Прогноз Облачности	3 балла, средняя	7 баллов, верхняя	5 баллов, нижняя	ясно	ясно
	Прогноз ветра, м/с	штиль	6	4	2	штиль
4	$T$ (19 ч), °С	5,0	-18,0	-8,5	-6,8	-1,7
	$T_d$ (19 ч), °С	-1,6	-20,0	-10,0	-8,5	-2,6
	Прогноз Облачности	ясно	2 балла, верхняя	5 баллов, средняя	4 балла, нижняя	ясно
	Прогноз ветра, м/с	2	штиль	штиль	5	2
5	$T$ (19 ч), °С	14,6	-5,8	0,5	4,3	6,1
	$T_d$ (19 ч), °С	12,7	-8,0	-0,7	-2,4	1,5
	Прогноз Облачности	ясно	3 балла, средняя	9 баллов, верхняя	3 балла, средняя	ясно
	Прогноз ветра, м/с	2	2	3	6	штиль
6	$T$ (19 ч), °С	-9,4	12,8	-4,9	18,4	16,5
	$T_d$ (19 ч), °С	-10,8	9,7	-6,9	15,6	8,1
	Прогноз Облачности	7 баллов, верхняя	ясно	3 балла, средняя	8 баллов, верхняя	3 балла, нижняя
	Прогноз ветра, м/с	1	штиль	5	2	2
7	$T$ (19 ч), °С	-1,5	8,6	17,5	25,0	-5,4
	$T_d$ (19 ч), °С	-2,5	3,1	14,5	21,0	-8,0
	Прогноз облачности	7 баллов, нижняя	8 баллов, нижняя	ясно	ясно	5 баллов, верхняя
	Прогноз ветра, м/с	1	4	2	штиль	1

Вариант	Исходные данные	Пример				
		1	2	3	4	5
8	$T(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	14,7	12,4	-5,8	20,5	7,4
	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	13,6	2,8	-7,9	16,2	5,2
	Прогноз облачности	4 балла, верхняя	6 баллов, средняя	ясно	3 балла, нижняя	5 баллов, средняя
	Прогноз ветра, м/с	5	2	3	1	4
9	$T(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	-9,5	-8,4	-6,1	18,5	15,5
	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	-10,9	-10,0	-7,8	8,0	14,5
	Прогноз облачности	7 баллов, верхняя	5 баллов, средняя	ясно	3 балла. Нижняя	ясно
	Прогноз ветра, м/с	1	штиль	2	2	штиль
10	$T(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	12,8	19,4	-14,8	0,0	-4,4
	$T_d(19 \text{ ч}), ^\circ\text{C}$	3,8	17,2	-17,4	-2,6	-5,6
	Прогноз облачности	8 баллов, верхняя	2 балла, средняя	1балл, верхняя	ясно	5 баллов, верхняя
	Прогноз ветра, м/с	3	3	5	2	штиль

З а д а н и е 5. Определить возможность выполнения визуальных полетов над морем и в прибрежной зоне по данным о температуре воздуха на суше и температуре водной поверхности.

Исходные данные	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Пример 1									
$T_{\text{вод}}, ^\circ\text{C}$	7	-2	0	14	-1	17	13	8	1	16
$T_c, ^\circ\text{C}$	-3	-8	-9	5	-10	9	2	1	-7	9
	Пример 2									
$T_{\text{вод}}, ^\circ\text{C}$	2	20	10	1	5	1	22	15	11	4
$T_c, ^\circ\text{C}$	-5	12	-1	-7	-3	-7	15	5	3	-4
	Пример 3									
$T_{\text{вод}}, ^\circ\text{C}$	15	6	18	12	21	9	-2	0	21	19
$T_c, ^\circ\text{C}$	8	-3	9	3	12	0	-10	-7	12	12

## ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ ГРОЗ

Цель работы: научиться оценивать возможность возникновения гроз на основании синоптических материалов.

### АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГРОЗ

Развитие интенсивной конвекции и образование мощных кучевых и кучево-дождевых облаков приводит к возникновению таких опасных явлений погоды, как грозы, град и шквалы.

Наибольшую опасность для полетов воздушных судов представляют грозы, поэтому преднамеренный заход в кучево-дождевые облака категорически запрещается. В этих облаках наблюдаются сильные восходящие и нисходящие токи, разряды молний, интенсивная турбулентность, обледенение и т.д.

Грозам обычно сопутствуют ливневые осадки, град и шквалы. Ливневые осадки также осложняют полет. При сильном ливне возможно значительное ухудшение видимости, вплоть до полной потери визуальной ориентировки. Возникающие при ливне нисходящие потоки воздуха могут иметь достаточно большую скорость (до 20-30 м/с), что может привести к потере самолетом высоты. Это особенно опасно при взлете, посадке и полетах на малых и предельно малых высотах. Опасность града и шквалов для воздушных судов очевидна, и на этом мы здесь останавливаться не будем.

Все сказанное выше подтверждает необходимость очень серьезно подходить к прогнозу гроз на АМСГ.

Мы не будем в данной работе останавливаться на методах прогноза гроз, разработанных Н.В. Лебедевой, Г.Д. Решетовым, Коксом и другими отечественными и зарубежными учеными. Эти методы прогноза подробно изучаются в курсе синоптической метеорологии. Ниже рассмотрим только два метода прогноза гроз, которые получили наиболее широкое распространение на АМСГ. Однако сначала с помощью аэрологической диаграммы определяется разница высот между уровнем конвекции и уровнем конденсации (см. лабораторную работу 2), и если эта разница более 4500 м, то в этом случае по району следует ожидать грозы, а грозу прогнозировать каким-либо другим методом. В качестве «других методов» мы рассмотрим следующие.

*Метод Вайтинга.* Суть метода Вайтинга заключается в следующем. По данным утреннего зондирования атмосферы для пунктов заданного района вычисляется коэффициент  $K$  по формуле

$$K = 2T_{850} - T_{500} - D_{850} - D_{700}, \quad (10.1)$$

где буквой  $T$  обозначена температура воздуха, а буквой  $D$  – дефицит температуры точки росы на соответствующем уровне.

Статистически установлено, что для средних широт при  $K < 20$  гроз ожидать не следует. Если коэффициент  $K$  находится в пределах от 20 до 25, то ожидаются отдельные грозы, если коэффициент  $K$  равен 25-30, то следует прогнозировать многочисленные грозы, а при  $K$  больше 30 ожидается повсеместное развитие гроз.

Значения коэффициента  $K$ , рассчитанного по формуле (10.1), наносятся на бланк карты, а затем проводятся изолинии значений коэффициента  $K$ , кратные 5, начиная с  $K = 20$ . Полученная область значений  $K > 20$  будет зоной возможной грозовой деятельности.

**Метод Фауста.** Согласно методу Фауста, рассчитывается критерий неустойчивости атмосферы  $\Delta T_n$  по формуле

$$\Delta T_n = T_v - T_{500} + \Delta T_R, \quad (10.2)$$

где  $T_v$  – температура нулевого испарения, определяемая с помощью рис. 10.1 с учетом температуры воздуха на уровне 850 гПа и среднего (среднего арифметического) значения дефицитов температуры точки росы на уровнях 850, 700 и 500 гПа. Наклонные линии на рисунке – температуры нулевого испарения. Если среднее значение дефицита точки росы в слое 850-500 гПа больше  $14^\circ\text{C}$ , то гроз в пункте ожидать не следует.

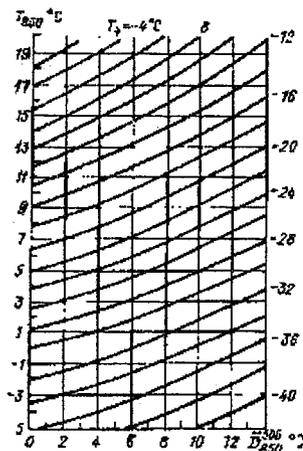


Рис.10.1. Номограмма для определения температуры нулевого испарения для прогноза гроз по методу Фауста.

В формуле (10.2) величина  $\Delta T_R$  представляет собой поправку на кривизну изобар. Эта величина определяется по данным таблицы

## Поправка на кривизну изобар $\Delta T_R$

Кривизна	Радиус кривизны $R$ , км			
	< 250	250 - 500	500 - 1000	> 1000
Циклоническая	2,0	1,4	1,0	0
Антициклоническая	- 2,0	- 1,4	- 1,0	0

Значения  $\Delta T_n$  наносятся на карту и проводится изолиния  $\Delta T_n = 0$ . В области, где  $\Delta T_n > 0$ , следует ожидать грозы.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие опасные для авиации явления погоды связаны с грозами?
2. Какие причины приводят к возникновению гроз?
3. Как определяются зоны возможной грозовой деятельности по методу Вайтинга?
4. Какие величины включаются в критерий неустойчивости, определяемый по методу Фауста?

### *Материалы для работы*

1. Синоптический материал из Учебного атласа или один из вариантов приложения.
2. Бланк синоптической карты или карты АКП.

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГТМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология.- СПб.: Гидрометеоздат, 1992.- 352с.
3. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации.-Л.: Гидрометеоздат, 1985, 302 с.
4. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. СПб.: Гидрометеоздат, изд. 2-е, 1992, 272 с.

### *Порядок выполнения работы*

1. Определить зоны грозовой деятельности по методу Вайтинга.
2. Определить зоны грозовой деятельности по методу Фауста.
3. Дать рекомендации по возможности обхода грозовых облаков на указанной преподавателем трассе полета.

## Методические указания

1. Для определения зон грозовой деятельности по методу Вайтинга рассчитать коэффициент  $K$  по формуле (10.1) для 20-ти пунктов, указанных в таблицах приложения. Исходную информацию взять или из таблиц приложения, или с карт барической топографии из Учебного атласа за срок, указанный преподавателем. Результаты расчета записать в таблицу, форма которой дана в приложении.
2. Полученные значения  $K$  нанести на бланк синоптической карты (карты АКП) и провести изолинии  $K$ , кратные 5, начиная со значения  $K = 20$ . Полученная таким образом область повышенных значений  $K$  будет зоной возможной грозовой деятельности.
3. Если на бланке карты не указан тот или иной пункт, то место расположения пункта следует найти по его широте ( $\varphi$ ) и долготе ( $\lambda$ ), которые указаны в таблицах приложения.
4. Для определения зоны грозовой деятельности по методу Фауста расчеты произвести для тех же пунктов, что и при прогнозе гроз по методу Вайтинга.
5. Среднее значение дефицита температуры точки росы в слое 850-500 гПа определяется как среднее арифметическое значение дефицитов на трех уровнях (850, 700 и 500 гПа). Если оказалось, что это значение больше  $14^{\circ}\text{C}$ , то в этом пункте гроз ожидать не следует, и дальнейшие вычисления для данного пункта не производятся. Если среднее значение дефицита температуры точки росы в слое 850-500 гПа меньше  $14^{\circ}\text{C}$ , то по номограмме (рис. 10.1) следует найти температуру нулевого испарения, определить величину  $\Delta T_v$ , затем по синоптической карте или по данным таблицы приложения определить радиус кривизны изобар и ввести в расчеты поправку  $\Delta T_R$ . После этого по формуле (10.2) рассчитать величину  $\Delta T_n$  и нанести ее значение на ту же карту правее коэффициента  $K$ , полученного для прогноза гроз по методу Вайтинга.
6. По значениям  $\Delta T_n$  провести одну изолинию  $\Delta T_n = 0$ . Грозы следует ожидать в области, где  $\Delta T_n > 0$ .
7. Сравнить положение областей возможной грозовой деятельности по методам Вайтинга и Фауста.

### Отчетный материал

1. Выполненная на отдельном листе и полностью заполненная таблица с расчетами параметров грозовой деятельности по методам Вайтинга и Фауста, форма которой дана в приложении.
2. Бланк карты с нанесенными значениями  $K$  и  $\Delta T_n$  и проведенными изолиниями.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## Исходные данные

### Вариант 1

Пункт	$\varphi$	$\lambda$	$T_{850}$	$D_{850}$	$D_{700}$	$T_{500}$	$K$	$D_{500}$	$D_{cp}$	$T_v$	$R^*$	$\Delta T_R$	$\Delta T_n$
Петрозаводск	62	34	-1	5	9	-24		7			1000a		
Петербург	60	30	-2	6	7	-24		8			1000a		
Таллинн	59	24	-2	5	3	-27		6			1000a		
Рига	57	24	-1	4	3	-26		6			1000a		
Вологда	60	40	7	0	10	-16		5			200ц		
Киров	58	50	13	10	4	-15		8			600ц		
Вильнюс	55	26	1	4	3	-24		5			1000a		
Смоленск	55	32	0	2	10	-21		2			700ц		
Москва	56	37	7	11	2	-20		6			300ц		
Н. Новгород	56	45	8	4	4	-18		4			600ц		
Казань	56	48	12	5	1	-17		2			400a		
Минск	54	27	1	3	15	-22		10			800ц		
Самара	53	50	18	14	2	-14		16			600ц		
Киев	51	31	5	0	2	-22		3			600ц		
Воронеж	52	38	6	3	4	-20		5			400ц		
Саратов	52	46	9	1	0	-13		0			450ц		
Кишинев	48	38	4	1	2	-24		4			1000a		
Харьков	50	35	7	7	2	-21		12			900ц		
Волгоград	48	45	13	10	5	-15		2			1000a		
Симферополь	45	34	8	4	6	-20		12			400ц		

\*а - антициклоническая кривизна; ц - циклоническая

### Вариант 2

Пункт	$\varphi$	$\lambda$	$T_{850}$	$D_{850}$	$D_{700}$	$T_{500}$	$K$	$D_{500}$	$D_{cp}$	$T_v$	$R$	$\Delta T_R$	$\Delta T_n$
Петрозаводск	62	34	-2	4	7	-23		6			1000a		
Петербург	60	30	-1	5	8	-22		7			1000a		
Таллинн	59	24	-1	6	4	-29		7			1000a		
Рига	57	24	-2	5	3	-25		5			800a		
Вологда	60	40	6	1	9	-19		6			400ц		
Киров	58	50	11	7	3	-17		7			800ц		
Вильнюс	55	26	2	5	4	-22		6			1000a		
Смоленск	55	32	1	3	8	-20		3			700ц		
Москва	56	37	8	10	3	-21		5			600ц		
Н. Новгород	56	45	9	3	6	-19		4			600a		
Казань	56	48	11	5	3	-18		3			400a		
Минск	54	27	3	4	10	-23		8			600ц		
Самара	53	50	16	11	4	-17		10			900ц		

Киев	51	31	6	2	3	-23		4			700ц		
Воронеж	52	38	5	4	5	-21		6			300ц		
Саратов	52	46	10	2	1	-16		1			650ц		
Кишинев	48	38	6	1	3	-26		3			1000а		
Харьков	50	35	7	5	1	-23		10			900а		
Волгоград	48	45	14	6	4	-19		3			1000а		
Симферополь	45	34	10	3	5	-21		10			800а		

*Вариант 3*

Пункт	$\varphi$	$\lambda$	$T_{850}$	$D_{850}$	$D_{700}$	$T_{500}$	$K$	$D_{500}$	$D_{cp}$	$T_v$	$R$	$\Delta T_R$	$\Delta T_H$
Петрозаводск	62	34	-1	5	6	-24		5			1000а		
Петербург	60	30	-3	4	7	-21		6			1000а		
Таллинн	59	24	-2	5	5	-26		7			800а		
Рига	57	24	-2	3	4	-27		6			800а		
Вологда	60	40	6	2	7	-20		5			600ц		
Киров	58	50	11	6	4	-19		5			700ц		
Вильнюс	55	26	3	6	3	-20		7			1000а		
Смоленск	55	32	2	4	6	-21		4			1000а		
Москва	56	37	9	7	4	-23		6			800ц		
Н. Новгород	56	45	9	4	5	-19		5			700а		
Казань	56	48	10	4	4	-20		4			400а		
Минск	54	27	5	5	7	-22		6			600а		
Самара	53	50	14	10	4	-19		9			800ц		
Киев	51	31	8	3	4	-21		5			700ц		
Воронеж	52	38	7	5	3	-23		3			600ц		
Саратов	52	46	11	2	2	-18		2			850ц		
Кишинев	48	38	9	2	4	-28		4			1000а		
Харьков	50	35	8	4	2	-25		8			900а		
Волгоград	48	45	16	5	3	-21		4			1000а		
Симферополь	45	34	12	2	3	-23		7			700а		

*Вариант 4*

Пункт	$\varphi$	$\lambda$	$T_{850}$	$D_{850}$	$D_{700}$	$T_{500}$	$K$	$D_{500}$	$D_{cp}$	$T_v$	$R$	$\Delta T_R$	$\Delta T_H$
Петрозаводск	62	34	0	4	5	-26		5			800ц		
Петербург	60	30	-2	3	4	-23		4			900ц		
Таллинн	59	24	-1	3	5	-29		8			700ц		
Рига	57	24	0	2	5	-28		7			800а		
Вологда	60	40	7	3	6	-23		6			700ц		
Киров	58	50	10	5	5	-21		5			400ц		
Вильнюс	55	26	4	4	3	-24		4			1000а		
Смоленск	55	32	3	3	5	-25		5			1000а		
Москва	56	37	11	5	4	-22		7			1000а		
Н. Новгород	56	45	10	3	4	-22		6			600а		
Казань	56	48	12	4	5	-21		5			600а		

Минск	54	27	7	3	6	-23	4			800а		
Самара	53	50	13	7	5	-20	7			700ц		
Киев	51	31	10	4	5	-22	7			900ц		
Воронеж	52	38	9	3	2	-24	4			600ц		
Саратов	52	46	12	2	3	-21	3			850а		
Кишинев	48	38	11	4	3	-29	2			1000а		
Харьков	50	35	10	3	3	-27	10			1000а		
Волгоград	48	45	17	5	4	-24	7			1000а		
Симферополь	45	34	13	3	4	-25	9			700ц		

Вариант 5

Пункт	$\varphi$	$\lambda$	$T_{850}$	$D_{850}$	$D_{700}$	$T_{500}$	$K$	$D_{500}$	$D_{cp}$	$T_v$	$R$	$\Delta T_R$	$\Delta T_H$
Петрозаводск	62	34	1	5	4	-25		3			700ц		
Петербург	60	30	-1	4	6	-24		5			800ц		
Таллинн	59	24	-3	2	3	-27		9			600ц		
Рига	57	24	-2	1	5	-26		6			1000а		
Вологда	60	40	4	3	7	-24		5			900ц		
Киров	58	50	9	4	4	-23		4			600ц		
Вильнюс	55	26	5	5	4	-22		3			1000а		
Смоленск	55	32	5	4	3	-27		5			1000а		
Москва	56	37	10	5	4	-23		6			1000а		
Н. Новгород	56	45	11	4	2	-22		5			1000а		
Казань	56	48	11	3	4	-24		7			800а		
Минск	54	27	8	2	7	-25		5			600а		
Самара	53	50	14	6	4	-21		6			700ц		
Киев	51	31	11	5	5	-22		5			900ц		
Воронеж	52	38	8	3	3	-25		4			600ц		
Саратов	52	46	11	3	4	-22		4			800а		
Кишинев	48	38	12	5	4	-28		3			1000а		
Харьков	50	35	13	4	5	-27		8			1000а		
Волгоград	48	45	16	4	3	-25		6			900ц		
Симферополь	45	34	15	2	3	-23		7			700ц		

Вариант 6

Пункт	$\varphi$	$\lambda$	$T_{850}$	$D_{850}$	$D_{700}$	$T_{500}$	$K$	$D_{500}$	$D_{cp}$	$T_v$	$R$	$\Delta T_R$	$\Delta T_H$
Петрозаводск	62	34	-1	3	5	-26		4			900ц		
Петербург	60	30	1	2	3	-25		4			700ц		
Таллинн	59	24	2	3	4	-28		7			400ц		
Рига	57	24	-1	2	2	-27		7			1000а		
Вологда	60	40	5	4	5	-26		6			900ц		
Киров	58	50	11	5	3	-25		5			800ц		
Вильнюс	55	26	6	6	4	-24		4			800а		
Смоленск	55	32	5	5	4	-27		5			1000а		
Москва	56	37	9	4	3	-25		5			1000а		

Н. Новгород	56	45	12	5	2	-23		4			1000a		
Казань	56	48	13	3	4	-24		6			700a		
Минск	54	27	9	3	5	-26		5			900a		
Самара	53	50	15	5	5	-23		4			700ц		
Киев	51	31	13	4	4	-24		3			600ц		
Воронеж	52	38	11	2	3	-25		4			800ц		
Саратов	52	46	10	3	6	-23		2			800a		
Кишинев	48	38	12	4	3	-29		7			1000a		
Харьков	50	35	14	3	4	-28		9			900a		
Волгоград	48	45	17	4	3	-27		8			700ц		
Симферополь	45	34	14	5	5	-25		5			400ц		

Вариант 7

Пункт	$\varphi$	$\lambda$	$T_{850}$	$D_{850}$	$D_{700}$	$T_{500}$	$K$	$D_{500}$	$D_{cp}$	$T_v$	$R$	$\Delta T_R$	$\Delta T_H$
Петрозаводск	62	34	0	4	5	-27		5			800ц		
Петербург	60	30	2	3	4	-26		4			600ц		
Таллинн	59	24	1	2	3	-24		6			300ц		
Рига	57	24	1	2	3	-28		7			1000a		
Вологда	60	40	6	5	4	-25		5			1000a		
Киров	58	50	10	4	3	-23		6			1000a		
Вильнюс	55	26	7	5	5	-24		4			800a		
Смоленск	55	32	6	4	4	-27		4			800ц		
Москва	56	37	8	5	4	-24		5			700ц		
Н. Новгород	56	45	13	4	3	-23		3			1000a		
Казань	56	48	14	4	3	-25		5			800a		
Минск	54	27	10	3	4	-27		4			900a		
Самара	53	50	14	5	5	-23		5			400ц		
Киев	51	31	15	5	3	-25		4			650ц		
Воронеж	52	38	12	3	2	-26		3			900ц		
Саратов	52	46	11	2	5	-24		3			1000a		
Кишинев	48	38	11	3	2	-27		6			1000a		
Харьков	50	35	13	4	3	-28		8			900a		
Волгоград	48	45	16	5	4	-26		9			900ц		
Симферополь	45	34	15	3	5	-26		6			600ц		

Вариант 8

Пункт	$\varphi$	$\lambda$	$T_{850}$	$D_{850}$	$D_{700}$	$T_{500}$	$K$	$D_{500}$	$D_{cp}$	$T_v$	$R$	$\Delta T_R$	$\Delta T_H$
Петрозаводск	62	34	1	3	4	-28		3			700ц		
Петербург	60	30	2	2	5	-25		5			900ц		
Таллинн	59	24	2	2	4	-27		4			400ц		
Рига	57	24	3	3	3	-29		5			1000a		
Вологда	60	40	5	4	5	-26		4			1000a		
Киров	58	50	8	4	4	-25		3			1000a		

Вильнюс	55	26	6	3	4	-24		5			900а		
Смоленск	55	32	7	4	3	-28		4			400ц		
Москва	56	37	9	4	4	-25		4			600ц		
Н. Новгород	56	45	12	5	4	-24		5			1000а		
Казань	56	48	15	3	5	-26		6			1000а		
Минск	54	27	11	3	2	-28		5			600а		
Самара	53	50	15	4	5	-25		3			700ц		
Киев	51	31	14	6	5	-27		4			650ц		
Воронеж	52	38	13	4	3	-24		4			700ц		
Саратов	52	46	10	3	4	-25		2			900а		
Кишинев	48	38	11	5	3	-27		7			900а		
Харьков	50	35	14	3	5	-29		7			1000а		
Волгоград	48	45	15	4	5	-27		8			700ц		
Симферополь	45	34	17	5	6	-25		7			900ц		

Вариант 9

Пункт	$\varphi$	$\lambda$	$T_{850}$	$D_{850}$	$D_{700}$	$T_{500}$	$K$	$D_{500}$	$D_{cp}$	$T_v$	$R$	$\Delta T_R$	$\Delta T_H$
Петрозаводск	62	34	0	4	3	-29		4			600ц		
Петербург	60	30	1	3	4	-26		4			800ц		
Таллинн	59	24	2	1	5	-28		3			600ц		
Рига	57	24	3	2	4	-30		6			800а		
Вологда	60	40	4	3	4	-27		3			1000а		
Киров	58	50	7	2	3	-26		4			900а		
Вильнюс	55	26	5	3	2	-25		4			700а		
Смоленск	55	32	6	3	3	-29		5			300ц		
Москва	56	37	8	3	3	-26		3			900ц		
Н. Новгород	56	45	13	4	4	-25		6			700а		
Казань	56	48	14	5	3	-27		5			1000а		
Минск	54	27	10	4	3	-28		6			900а		
Самара	53	50	13	2	4	-26		2			750ц		
Киев	51	31	14	4	6	-28		5			650ц		
Воронеж	52	38	15	5	4	-25		3			900ц		
Саратов	52	46	11	4	5	-26		3			1000а		
Кишинев	48	38	14	8	4	-28		6			1000а		
Харьков	50	35	12	5	6	-30		8			900а		
Волгоград	48	45	15	3	5	-28		7			700ц		
Симферополь	45	34	15	4	7	-26		8			600ц		

Вариант 10

Пункт	$\varphi$	$\lambda$	$T_{850}$	$D_{850}$	$D_{700}$	$T_{500}$	$K$	$D_{500}$	$D_{cp}$	$T_v$	$R$	$\Delta T_R$	$\Delta T_H$
Петрозаводск	62	34	2	3	2	-27		5			800ц		
Петербург	60	30	-1	3	3	-24		3			900ц		
Таллинн	59	24	0	2	6	-26		4			400ц		
Рига	57	24	2	3	5	-28		5			700а		
Вологда	60	40	5	2	2	-25		2			900а		
Киров	58	50	7	3	3	-24		3			1000а		
Вильнюс	55	26	3	1	3	-23		2			1000а		
Смоленск	55	32	5	3	2	-27		3			400ц		
Москва	56	37	7	2	3	-24		4			900ц		
Н. Новгород	56	45	11	2	3	-23		3			1000а		
Казань	56	48	16	4	1	-27		3			800а		
Минск	54	27	8	3	2	-26		2			600а		
Самара	53	50	14	3	4	-25		5			700ц		
Киев	51	31	12	5	7	-29		6			600ц		
Воронеж	52	38	16	4	3	-26		4			450ц		
Саратов	52	46	13	3	4	-24		3			900а		
Кишинев	48	38	15	5	6	-29		7			1000а		
Харьков	50	35	13	7	7	-31		8			1000а		
Волгоград	48	45	14	6	5	-27		5			900ц		
Симферополь	45	34	16	7	5	-24		4			700ц		

## ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Цель работы: изучить методы диагноза и прогноза обледенения самолетов.

### ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОБЛЕДЕНЕНИЯ САМОЛЕТА С УЧЕТОМ СКОРОСТИ ПОЛЕТА

Обледенение самолета возникает вследствие осаждения и замерзания на его поверхности переохлажденных капель и вмёрзания кристаллов льда. Обледенение ухудшает аэродинамические, летные и эксплуатационные характеристики самолета. Обледенению подвергаются все типы воздушных судов.

Обледенение возможно только при наличии благоприятных атмосферных условий и при отрицательной температуре поверхности самолета. При полете с большой скоростью температура поверхности самолета повышается под влиянием кинетического нагрева, возникающего за счет сжатия воздуха.

Для анализа метеорологических условий обледенения самолета по данным радиозондирования на аэрологической диаграмме выделяются облачные слои. В тех слоях, где температура воздуха находится в пределах  $0... - 20^{\circ}\text{C}$ , возможно опасное для воздушного судна обледенение. Условия для развития интенсивного обледенения особенно благоприятны в тех облачных слоях, где температура воздуха  $T$  ниже температуры насыщения над льдом  $T_{н.л.}$ , определяемой по формуле Годске

$$T_{н.л.} = - 8 (T - T_d), \quad (11.1)$$

т.е. там, где  $\Delta T_c = T - T_{н.л.} \leq 0$ .

За счет кинетического нагрева, обусловленного скоростью полета самолета, температура поверхности самолета выше температуры окружающего воздуха.

Кинетический нагрев поверхности самолета  $\Delta T_{кин}^c$  определяется по формуле

$$\Delta T_{кин}^c = \frac{V^2}{2000} = 5 \left( \frac{V}{100} \right)^2, \quad (11.2)$$

где  $V$  – скорость полета самолета, м/с.

Полученные по формуле (11.2) значения кинетического нагрева справедливы для сухого воздуха. В облаках кинетический нагрев  $\Delta T_{кин}^{обл}$  на 40-50 % меньше. Данные о кинетическом нагреве при различной скорости полета приведены в табл. 11.1.

**Таблица 11.1**

Значения кинетического нагрева поверхности самолета при различной скорости полета

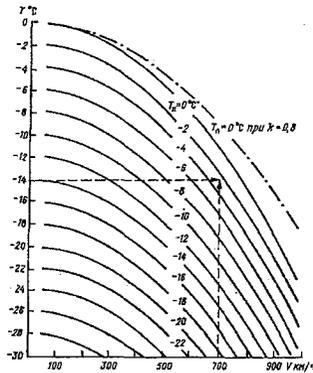
$V$ км/ч.....	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
$\Delta T_{кин}^c$ °С.....	2	4	6	10	14	19	25	31	38	47
$\Delta T_{кин}^{обл}$ °С.....	-	2	4	6	8	11	15	19	23	28

Температуру поверхности самолета  $T_n$  можно определить по формуле

$$T_n = T + \Delta T_{кин}^{обл}. \quad (11.3)$$

При полете со скоростью  $V$ , обледенение возможно, если  $T_n < 0$ .

Для учета влияния скорости полета самолета на возможность его обледенения можно использовать график, приведенный на рис.11.1, по которому оценивается температура поверхности самолета при полете с заданной скоростью.



*Рис. 11.1. График для определения температуры поверхности самолета при полете в облаках (по методу К.Г. Абрамович).*

При наличии данных температурно-ветрового зондирования на бланке аэрологической диаграммы целесообразно построить кривую, соответствующую значениям  $\Delta T_{кин}^{обл}$ . Эта кривая строится следующим образом (рис.11.2).

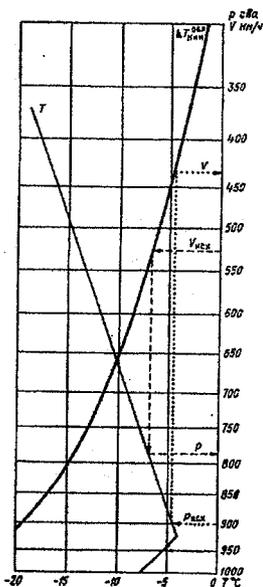


Рис.11.2. Номограмма для определения по аэрологической диаграмме уровня, выше которого возможно обледенение.

За вертикальную ось графика принимается нулевая изотерма на аэрологической диаграмме. Значения давления на этой оси численно приравняются к значениям скорости полета (км/ч). Например, уровню 300 гПа соответствует скорость полета 300 км/ч, уровню 600 гПа – скорость 600 км/ч и т.д.

По данным таблицы 11.1 влево от вертикальной оси (область отрицательных температур) откладываются значения  $(-\Delta T_{кин}^{обл})$ , соответствующие скорости полета (а, следовательно, и определенному уровню), образующие кривую  $(-\Delta T_{кин}^{обл})$ . Тогда, зная температурные условия на заданном уровне полета и кинетический нагрев  $\Delta T_{кин}^{обл}$ , необходимый для повышения температуры поверхности крыла до  $0^{\circ}\text{C}$  (расстояние в  $^{\circ}\text{C}$  между изотермой  $T$  и нулевой изотермой), можно определить скорость полета, соответствующую этому значению  $\Delta T_{кин}^{обл}$ , т.е. минимальную скорость, при превышении которой  $T_n > 0$  обледенения не будет.

И наоборот, зная скорость полета и соответствующее значение  $\Delta T_{кин}^{обл}$ , достаточно от точки на кривой  $(-\Delta T_{кин}^{обл})$  переместиться по изотерме до кривой стратификации определить уровень, выше которого температура поверхно-

сти самолета  $T_n$  будет отрицательной, несмотря на кинетический нагрев при полете со скоростью  $V$ . Порядок решения данных задач указан стрелками на рис.11.2.

Для определения интенсивности обледенения  $I$  (мм/мин) при проби-  
вании слоистой облачности следует воспользоваться номограммой, приве-  
денной на рис.11.3 (пояснения см. ниже).

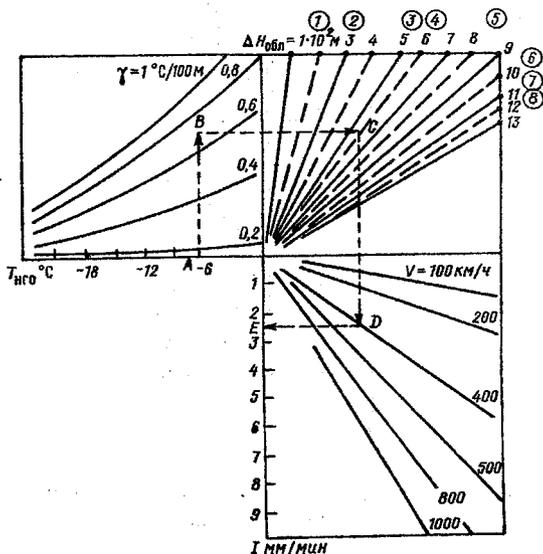


Рис.11.3. Номограмма для оценки интенсивности обледенения при полете в облаках слоистых форм.

Исходными данными являются температура основания облака  $T_{ндо}$  ( $0^{\circ}\text{C}$ ), вертикальный градиент температуры в облаке  $\gamma$  ( $^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ ), толщина облачного слоя  $\Delta H_{обл}$  (сотни метров) и скорость полета  $V$  (км/ч). Порядок оценки интенсивности обледенения указан стрелками и дополнительного пояснения не требует.

### 1. Контрольные вопросы

1. Что называется обледенением?
2. Какие причины приводят к обледенению воздушного судна?
3. Как подразделяется обледенение по интенсивности?
4. Какие формы отложения льда могут наблюдаться в полете?
5. Какие методы борьбы с обледенением используются в настоящее время?

6. Как оценивается возможность обледенения по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы?
7. Как учитывается влияние кинетического нагрева при оценке условий обледенения?

### *Материалы для работы*

1. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.
2. Бланк аэрологической диаграммы.

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГТМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология. – СПб.; Гидрометеиздат, 1992.- 352 с.
3. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. – СПб.; Гидрометеиздат, 1992.- 272 с.
4. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации.- СПб.; Гидрометеиздат, 1985, с.

### *Порядок выполнения работы*

1. По данным температурно-ветрового зондирования атмосферы (приложение) для указанного преподавателем варианта построить аэрологическую диаграмму, определить слои облачности и возможного обледенения самолетов синоптическим методом.

2. Определить слои возможного интенсивного обледенения самолетов по методу Годске.

3. На заданных преподавателем уровнях определить кинетический нагрев в облаках, температуру поверхности самолета и возможность его обледенения при полете в облаках со скоростью 300, 500, 600 и 900 км/ч.

4. По данным зондирования определить высоту, начиная с которой возможно обледенение при полете с заданной скоростью (скорость полета задается преподавателем).

5. Определить минимальную скорость полета, исключающую обледенение на заданном уровне (высота полета задается преподавателем).

6. Определить интенсивность обледенения при пробивании облачности (исходные данные задаются преподавателем).

### *Методические указания*

1. Для выделения слоев обледенения синоптическим методом необходимо по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы, приведенным в приложении, на бланке аэрологической диаграммы построить кривые стратификации, точек росы и дефицитов точек росы. Затем на этой диаграмме выделить облачные слои и уровни изотерм 0, -10 и -20°C. В слое между

изотермами 0 и  $-20^{\circ}\text{C}$  на высотах, где наблюдается облачность, возможно опасное обледенение.

2. При диагнозе и прогнозе зон обледенения по методу Годске сначала по данным зондирования следует определить температуру насыщения надолдом  $T_{н.л}$  по формуле (11.1). Затем на том же бланке диаграммы построить кривую насыщения надолдом по полученным значениям  $T_{н.л}$  и сравнить температуру насыщения надолдом  $T_{н.л}$  с фактической температурой  $T$  на том же уровне. В тех слоях, где  $T_{н.л} \geq T$ , следует указать обледенение.

Построение кривой  $T_{н.л}$  производить до уровня 500 гПа, так как этот метод рекомендуется применять только до высот 700-500 гПа.

3. По данной скорости полета  $V$  и температуре воздуха на указанном эшелоне  $T$  определить  $\Delta T_{кин}^{обл}$  (табл. 11.1) и температуру поверхности самолета  $T_n$  (по формуле 11.3). Если  $T_n > 0^{\circ}\text{C}$ , то обледенения не будет. По тем же исходным данным определить  $T_n$ , используя график рис.11.1. Результаты расчета записать в таблицу 11.2.

Провести анализ влияния скорости полета на условия обледенения.

Таблица 11.2

Определение условий обледенения самолета

$H_{эл}$ , км	$T$ , $^{\circ}\text{C}$	$V$ , км/ч	$\Delta T_{кин}^{обл}$ , $^{\circ}\text{C}$	$T_n$ , $^{\circ}\text{C}$	Возможность обледенения (да, нет)
1	2	3	4	5	6
		300			
		500			
		600			
		900			

4. Построить на бланке аэрологической диаграммы кривую  $(-\Delta T_{кин}^{обл})$ .

При решении задачи определения высоты, начиная с которой возможно обледенение, при заданной скорости полета  $V$  (приложение 11.2), необходимо от точки (на вертикальной оси), соответствующей заданной скорости полета, сместиться влево до построенной кривой, а затем опуститься (подняться) по изотерме до пересечения с кривой стратификации. Точка пересечения этих линий будет соответствовать той высоте, начиная с которой возможно обледенение (см. рис.11.2).

5. При определении минимальной скорости полета, исключаяющей обледенение, следует от высоты заданного эшелона  $H_{эл}$  (приложение 11.2) сместиться по изобаре влево до пересечения с кривой стратификации, затем по изотерме опуститься (подняться) до построенной кривой и на этом уровне отсчитать (по шкале давления) минимальную скорость, исключаящую обледенение (см. рис.11.2).

б. По данным температурно-ветрового зондирования атмосферы определить для облачного слоя температуру на нижней границе облаков  $T_{нио}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), толщину слоя облаков  $\Delta H_{обн}$  (сотни м) и вертикальный градиент температуры в слое облаков  $\gamma$  ( $^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ ).

От точки А номограммы рис.11.3, соответствующей температуре основания облака  $T_{нио}$ , необходимо подняться вертикально вверх до рассчитанного значения вертикального градиента температуры в облаке  $\gamma$  (точка В), а затем сместиться вправо до пересечения с наклонной линией, указывающей толщину облаков  $\Delta H_{обн}$  (точка С). Цифры на графике у наклонных линий обозначают толщину облаков сотнями метров. В тех случаях, когда определяется максимально возможная интенсивность обледенения, необходимо сместиться от точки В вправо до штриховых наклонных линий, обозначающих по верхней шкале (цифры в кружках) толщину облачности (в сотнях метров). Затем от точки С следует опуститься вниз (в точку D) до пересечения с наклонной линией, соответствующей скорости полета  $V$ , и на вертикальной оси в точке Е отсчитать интенсивность обледенения  $I$  (мм/мин).

### *Отчетный материал*

1. Аэрологическая диаграмма, на которой выделены слои обледенения синоптическим методом и по методу Годске и построена кривая ( $-\Delta T_{кин}^{обн}$ ) для учета кинетического нагрева.
2. Заполненная табл. 11.2 с анализом возможности обледенения с учетом скорости полета.
3. Записанные в рабочей тетради или на отдельном листе результаты оценки интенсивности обледенения.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 11.1

Значения скорости полета  $V$  для определения высоты, с которой возможно облечение, и высоты эшелона  $H_{эл}$  для определения минимальной скорости полета, исключающей облечение.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V$ , км/ч	400	300	250	350	280	320	500	540	380	450
$H_{эл}$ , м	600	1200	1800	2400	3000	900	1500	2100	4200	3300

### Приложение 11.2

Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы

<i>Вариант 1</i> Москва				<i>Вариант 2</i> Смоленск			
$P$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C	$D$ , °C	$P$ , гПа	$H$ , км	$T$ , °C	$D$ , °C
1005	0.00	0.3	2	1000	0,00	1,0	0,1
947	0.50	-0.6	1.4	940	0,70	-1,1	0,9
931	0.70	-2.3	20.5	932	0,80	-2,4	0,3
920	0.80	-3.3	0.1	921	0,85	-3,2	0,5
905	0.90	-2.7	0.1	900	1,00	-2,6	1,8
843	1.50	-4.4	0.4	848	1,45	-4,0	2,3
784	2.10	-5.1	1.5	790	2,00	-5,8	1,5
695	3.10	-9.3	2.1	700	3,00	-9,5	2,7
680	3.90	-12.6	2.0	679	3,20	-12,3	2,3
600	4.20	-15.9	2.3	601	4,20	-15,0	2,1
560	4.60	-17.9	2.0	555	4,75	-17,1	2,7
550	4.80	-18.3	2.8	545	4,90	-18,0	3,0
540	5.10	-18.5	8.0	535	5,10	-18,8	8,4
500	5.60	-20.5	9.0	499	5,55	-20,0	9,2

*Вариант 3*  
Хабаровск

<i>P</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °C	<i>D</i> , °C
1010	0,00	0,0	1,0
950	0,62	-2,1	0,5
937	0,75	-2,6	0,6
927	0,83	-3,1	0,1
909	0,95	-2,0	1,3
850	1,45	-4,9	2,0
786	2,12	-5,5	1,0
698	3,05	-10,0	2,0
684	3,19	-12,0	3,0
597	4,25	-15,1	2,2
564	4,64	-17,5	2,9
553	4,80	-18,1	3,2
536	5,06	-19,0	7,6
490	5,70	-20,1	8,5

*Вариант 4*  
Новосибирск

<i>P</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °C	<i>D</i> , °C
1001	0,00	0,9	0,2
941	0,69	-1,2	0,4
930	0,75	-3,0	1,0
924	0,84	-3,6	0,9
902	1,02	-3,0	1,0
840	1,55	-4,1	2,1
781	2,15	-5,0	1,1
690	3,10	-9,7	2,2
675	3,32	-12,7	2,9
604	4,11	-15,2	3,0
556	4,75	-17,0	2,0
551	4,84	-18,2	3,4
545	5,06	-18,7	8,1
498	5,53	-21,0	8,6

*Вариант 5*  
Самара

<i>P</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °C	<i>D</i> , °C
1009	0,00	0,1	0,9
949	0,65	-1,5	0,6
935	0,73	-2,5	0,2
918	0,90	-3,0	0,2
906	0,96	-2,5	1,9
841	1,55	-4,2	2,8
783	2,12	-5,2	1,7
691	3,10	-9,0	2,8
676	3,25	-13,0	2,2
595	4,25	-15,8	2,4
565	4,60	-17,2	2,1
554	4,80	-18,4	2,5
544	4,95	-18,6	7,7
497	5,55	-20,9	8,7

*Вариант 6*  
Владивосток

<i>P</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °C	<i>D</i> , °C
1003	0,00	0,8	0,6
942	0,68	-1,7	0,7
936	0,75	-2,0	0,9
922	0,83	-3,9	1,0
910	0,91	-2,9	1,1
849	1,43	-5,0	2,9
789	2,05	-6,0	1,6
694	3,12	-9,8	2,9
681	3,21	-12,9	2,8
605	4,11	-16,0	2,8
559	4,69	-18,0	2,2
546	4,90	-19,0	2,6
537	5,04	-18,9	7,8
491	5,69	-20,8	8,6

*Вариант 7*  
Казань

<i>P</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °С	<i>D</i> , °С
1004	0,00	0,7	0,8
948	0,61	-2,0	1,0
929	0,74	-2,9	0,8
920	0,85	-4,0	0,6
908	0,96	-2,1	1,2
845	1,50	-4,3	2,7
788	2,04	-5,3	1,8
696	3,03	-9,9	2,5
677	3,20	-12,8	2,5
603	4,16	-15,6	2,5
557	4,76	-17,8	2,6
547	4,90	-18,5	2,7
538	5,04	-18,0	8,2
492	5,68	-20,7	9,4

*Вариант 8*  
Санкт-Петербург

<i>P</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °С	<i>D</i> , °С
1008	0,00	0,2	0,4
943	0,65	-1,3	0,8
933	0,78	-2,1	0,7
919	0,85	-3,4	0,7
901	1,00	-2,8	1,6
846	1,54	-4,8	2,4
780	2,12	-5,9	1,9
692	3,08	-9,1	2,3
682	3,17	-12,1	2,4
596	4,25	-15,7	2,9
563	4,67	-17,3	2,3
549	4,85	-18,9	2,3
539	5,00	-18,4	7,9
496	5,65	-20,2	8,8

*Вариант 9*  
Саратов

<i>P</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °С	<i>D</i> , °С
1006	0,00	0,6	0,3
945	0,69	-1,4	0,2
938	0,72	-2,8	0,5
928	0,81	-3,5	0,3
903	0,97	-2,2	1,4
842	1,54	-4,7	2,6
785	2,08	-5,7	1,3
693	3,06	-9,2	2,4
678	3,25	-12,5	2,7
602	4,18	-15,3	2,6
558	4,72	-17,7	2,5
552	4,81	-18,8	2,9
544	4,94	-18,8	8,3
495	5,65	-20,6	9,3

*Вариант 10*  
Ростов-на-Дону

<i>P</i> , гПа	<i>H</i> , км	<i>T</i> , °С	<i>D</i> , °С
1002	0,00	0,5	0,7
944	0,63	-1,9	0,3
934	0,75	-2,2	0,4
923	0,84	-3,8	0,8
907	0,96	-2,4	1,7
847	1,48	-4,5	2,5
782	2,11	-5,4	1,2
699	2,46	-9,6	2,6
683	3,15	-12,4	2,6
598	4,24	-15,4	2,7
562	4,68	-17,4	2,4
548	4,89	-18,7	3,1
541	5,00	-19,0	8,5
493	5,55	-20,3	8,9

## 11. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

### Лабораторная работа 12

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ АВИАЦИОННЫХ КОДОВ ПРИ ОБМЕНЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

Цель работы: изучить метеорологические коды METAR и TAF, а также аэрологические коды КН-03 и КН-04 и приобрести практические навыки в раскодировании телеграмм, закодированных указанными кодами.

#### Метеорологические авиационные коды

Для метеорологического обеспечения полетов производится обмен метеорологической информацией между аэропортами вылета, посадки и запасными аэропортами. Детальный порядок сбора и распространения метеорологической информации определяется «Наставлением по метеорологическому обеспечению гражданской авиации» (НМО ГА). Система сбора и распространения метеорологической информации дает возможность оперативным метеорологическим органам получать необходимые сведения о фактической и ожидаемой погоде в районах (на воздушных трассах) предстоящих полетов, в том числе сведения об опасных для авиации метеорологических явлениях.

Фактическая погода, прогноз и данные аэрологических наблюдений, как правило, передаются в закодированной форме. Для этой цели используются метеорологические авиационные коды: для передачи фактической погоды по аэродрому (код METAR) и прогнозов погоды (код TAF), аэрологические коды для передачи результатов наблюдений за ветром (код КН-03) и результатов температурно-ветрового зондирования атмосферы (код КН-04) и некоторые другие.

Все перечисленные выше коды являются международными, и с кодами КН-03 и КН-04 студентов знакомят на младших курсах. «Чисто авиационные коды» METAR и TAF по сравнению с уже известными кодами имеют некоторые особенности. Во-первых, в обоих кодах в группах может быть разное количество символов. Во-вторых, в группах этих кодов кроме цифр могут быть буквы латинского алфавита или даже некоторые символы (знак +, например). В-третьих, в телеграммах, закодированных кодом METAR (фактическая погода на аэродроме), передается информация о тенденции в изменении погоды на ближайшие два часа, т.е. прогноз погоды на два часа.

**Международный метеорологический авиационный код METAR.** В начале каждой телеграммы ставится название кода METAR. В тех случаях, когда телеграммы объединены в сводку, слово METAR ставится только в на-

чале сводки. Последовательность передачи информации, закодированной этим кодом, остается постоянной, однако, если тот или иной элемент (явление) отсутствует, соответствующая группа или ее часть в телеграмме опускается. Отдельные группы или их части в соответствии с региональными соглашениями между странами – членами МОГА могут не использоваться. Некоторые группы кода могут повторяться несколько раз (например, при передаче информации о нескольких слоях облачности).

Срок наблюдения в телеграммах всегда указывается по Гринвичу.

Группа SAVOK – индикатор благоприятной погоды, включается в телеграмму вместо групп видимости, явлений погоды и облачности. Включение этой группы означает, что на аэродроме одновременно выполняются (наблюдаются) следующие условия: горизонтальная видимость у земли 10 км и более, высота нижней границы облаков 1500 м и более, отсутствуют кучево-дождевые облака, и нет осадков, грозы, пыльной бури, приземного тумана и поземка.

После информации о фактической погоде в телеграммах сообщается прогноз тенденции погоды для посадки самолетов на ближайшие 2 ч (прогноз типа TREND – см. код).

В некоторых странах в конце телеграммы сообщается особой группой состояние ВПП (см. код).

**Международный метеорологический авиационный код TAF.** В начале текста телеграммы всегда ставится слово TAF. В тех случаях, когда телеграммы объединены в общую сводку, слово TAF ставится только один раз в начале сводки. Отдельные группы кода могут быть опущены в телеграмме, если в прогнозе не ожидается элементов, указываемых в этой группе, или если сведений о них не требуется. Отдельные группы кода могут повторяться в телеграмме несколько раз в зависимости от характера погодных условий.

Полное описание прогнозируемых погодных условий должно включать информацию о ветре, видимости, явлениях погоды и облачности.

Группы, заключенные в схеме кода в скобки, не всегда используются в телеграммах TAF (см. схему кода).

### *Контрольные вопросы*

1. Каким образом кодируются данные о ветре на различных уровнях с помощью кода KN-03?
2. Каким образом кодируются данные о температуре, влажности и ветре на основных изобарических поверхностях и в особых точках с помощью кода KN-04?
3. В чем состоит основное назначение метеорологических кодов METAR и TAF?

## Материалы для работы

Телеграммы с данными о погоде и аэрологических наблюдениях, закодированные кодами КН-03, КН-04, METAR и TAF.

### Рекомендуемая литература

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 352с.
3. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 302 с.
4. Коды КН-03, КН-04, METAR и TAF.

### Порядок выполнения работы

1. Разобрать вместе с преподавателем порядок кодирования телеграмм каждым кодом.
2. Самостоятельно раскодировать телеграммы одного из вариантов приложения, указанного преподавателем.

### Методические указания

1. Телеграммы, закодированные кодами METAR и TAF, раскодировать и данные о фактической погоде и прогнозах погоды записать в раскодированном виде на отдельном листе или на бланке.
2. Телеграммы, закодированные кодом КН-03, раскодировать и данные ветрового зондирования записать в таблицу вида

<i>H</i> , км	<i>p</i> , гПа	<i>dd</i> , град	<i>U</i> , м/с

3. Телеграммы, закодированные кодом КН-04, раскодировать, и данные температурно-ветрового зондирования записать в таблицу вида

<i>H</i> , км	<i>p</i> , гПа	<i>T</i> , °C	<i>D</i> , °C	<i>T<sub>d</sub></i> , °C	<i>dd</i> , град	<i>U</i> , м/с

### Отчетный материал

Раскодированные телеграммы с данными о погоде одного из вариантов приложения.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Телеграммы со сведениями о погоде

#### Вариант 1

1. ПРАА 10083 26063 55585 26008 28507 36008 27508 19508 77999  
PPBB 10083 26063 90123 26013 31005 29007 80248 29007 27509 29509 21212  
00986 30006 11/// 25516 22/// 30505 33/// 25006 44/// 28507 55/// 32008 66///  
19008 77/// 22511 88/// 20513
- ПРАА 30083 27612 55585 12011 14512 16520 17025 18025 77999  
PPBB 30083 27612 90123 //// 11014 12012 80248 11015 11512 16017 21212  
00013 11003 11/// 11014 22/// 11012 33/// 15011 44/// 17019 55/// 17020  
66/// 18020 77/// 17025 88/// 17015 99/// 17025
2. ТТАА 26001 27196 99016 07126 00000 00290 07718 01508 85534 17317 35503  
70991 18960 34008 50540 37926 31515 40692 45944 31019 30875 55746  
32019 25990 59745 32016 20131 56348 32011 15314 54950 32009 10571  
57556 33508 88256 59945 32016 77999
- ТТВВ 2600/ 27196 00016 07126 11846 17717 22836 15118 33799 15523 44756  
15757 55699 18960 66678 19958 77610 26318 88489 39129 99365 49149  
11285 57145 22269 57145 33256 59945 44188 55350 55113 55756 21212  
00016 00000 11003 01008 22959 06504 33905 34502 44882 36001 55790  
34505 66759 35506 77365 31021 88208 32511 99188 31510 11113 34007  
41414 85611
3. METAR EDDB 170050Z 23005KT 9999 -SN BKN025 00/M01 Q1025 NOSIG  
=  
METAR EDDP 170050Z 19007KT 4700 -RA BR BKN003 BKN008 01/01  
Q1026 NOSIG RMK QFE769 =  
METAR EDDV 170050Z 26007MPS 9999 FEW013 BKN120 04/03 Q1026 =
4. TAF UWGG 161900Z 17002MPS 1200 SNRA BR OVC004 BKN010CB 650040  
TM01/21Z TEMPO 2106 0700 +SHSN BR VV003 =  
TAF UUBB 161945Z 162106 20006MPS 5000 BKN008 SCT010 TEMPO 2106  
0900 SHSN SCT004 OVC006 SCT010CB =  
TAF ULLI 161945Z 162106 33006G11MPS 4000 -SN DRSN BKN008  
SCT010CB  
TEMPO 2106 1000 SHSN BKN004 BKN010CB =

#### Вариант 2

1. ПРАА 03093 26038 55785 22018 25508 29512 31014 01520 32034 31518 77058  
32036 41105  
PPBB 03093 26038 90123 20516 21008 20013 80248 22013 22516 24513 821//

32034 21212 00013 21002 11/// 18022 22/// 20519 33/// 20505 44/// 21520  
55/// 20014 66/// 24024 77/// 22019 88/// 23012 99/// 26510 11/// 24510  
22/// 24008 33/// 32014 44/// 31520 55/// 01520 66/// 32534 77/// 31530  
88/// 31516

PPAA 01083 23804 55885 06008 10009 13527 14045 14053 14038 14013 15010  
70890 14053 40120 70800 14053 40902 71060 14035

PPBB 01083 23804 90123 02007 11508 09504 80248 07006 06510 12521 821//  
14018 21212 00012 11004 11/// 08007 22/// 13507 33/// 09504 44/// 05008  
55/// 09507 66/// 10523 77/// 12532 88/// 13527 99/// 14053 11/// 14053  
22/// 11548 33/// 14035 44/// 14525 55/// 14512 66/// 14510

2. TTAA 25231 26063 99025 13345 16003 00266 07758 18007 85540 08570 16508  
70020 16967 15505 50547 33758 24502 40700 43758 29002 30889 56957  
30504 25003 62358 30005 20142 59959 33005 15323 57560 31502 10577  
59960 27502 88251 62358 30005 77999

TTBB 2523/ 26063 00025 13345 11990 05959 22975 06562 33947 04172 44922  
05184 55807 10763 66794 11363 77697 17167 88582 24964 99463 37557  
11306 54758 22232 62358 33152 57560 21212 00025 16003 11005 18507  
22979 18006 33959 14508 44804 17509 55593 13503 66546 17003 77454  
31002 88411 28502 99372 30502 11234 30005 22204 33005 33177 34008  
44109 28001 41414 00900

3. METAR EDDC 170050Z 24003MPS 9999 -SN BKN040 00/00 Q1025 NOSIG =  
METAR EDDG 170050Z 24009KT CAVOK 05/03 Q1027 NOSIG =  
METAR EDDM 170050Z 26014KT 7000 -RADZ FEW005 BKN024 00/M01  
Q1029 NOSIG RMK QFE764 =

4. TAF URKK 162000Z 162106 32007MPS 3000 -SHRA BR BKN007 BKN020CB  
TEMPO 2106 1200 BKN004 BKN020CB =  
TAF UUBB 162245Z 162106 20006MPS 5000 BKN008 SCT010CB TEMPO  
2106 0900 SHSN SCT004 OVC006 SCT010CB =  
TAF URRR 161940Z 162106 24006G11MPS 1200 SHRA BR BKN004  
BKN020CB

TM00/02Z TEMPO 2124 26006G11MPS 0300 FG OVC002 BKN020CB  
TEMPO 0206 30006G11MPS 2000 SHSNRA BR BKN005 BKN020CB  
640000 =

*Вариант 3*

1. PPAA 16093 22113 55485 20004 17502 20508 19508 77999  
PPBB 16093 22113 90123 13506 13505 13004 80248 14504 11501 12003 21212  
00993 14002 11/// 17007 22/// 13506 33/// 13004 44/// 15004 55/// 15006  
66/// 24002 77/// 22501 88/// 22001 99/// 17502 11/// 18502 22/// 21506  
33/// 20010

PPAA 11083 27037 55685 29508 29509 24013 23514 22512 22013 77999  
PPBB 11083 27037 90123 28513 31013 30515 80248 30015 30516 27004 821//

22013 21212 00002 31006 11/// 26512 22/// 31014 33/// 30015 44/// 29506  
55/// 31009 66/// 29010 77/// 27004 88/// 22515 99/// 22012 11/// 19010

2. TТAA 15001 33345 99003 05130 13505 00189 05328 // 85450 06123 13509  
70970 11159 14011 50549 25766 14007 40708 37158 23005 30900 52956  
31009 25016 61950 29510 20154 61750 25010 15335 57356 28510 10591  
58357 29011 88218 65349 26010 77999

ТТВВ 1500/ 33345 00003 05130 11902 22894 11309 33850 06123 44744 08957  
55640 13762 66500 25766 77432 32761 88329 48156 99243 63150 11218  
65349 22191 59950 33158 57356 21212 00003 13505 11487 22294 31510  
33192 25010 44150 28510 55128 27010 41414 8072/

3. METAR EDDE 170050Z 26009KT BKN020 03/03 Q1026 NOSIG RMK QFE766  
=  
METAR EDDR 170050Z 34002MPS 0900 FZFG NSC M01/M01 Q1029 NOSIG  
=  
METAR EDDW 170050Z 25009KT 9999 SCT014 SCT080 BKN250 05/03  
Q1026 =

4. TAF ULLA 161950Z 162106 36006MPS 3000 BR SHSN SCT007CB TEMPO  
2106

0500 FZFG SHSN BKN003 =

TAF UUWW 161930Z 162106 20005MPS 5000 BKN007 BKN010CB TEMPO  
2106 0900 SHSN SCT004 BKN006 BKN010CB =

TAF UDDD 161930Z 162106 23008MPS 3000 SN BKN007 SCT010CB TEMPO  
2106 0700 +SHSN SCT004 BKN007 SCT010CB BECMG 0002  
30007G12MPS =

#### *Вариант 4*

1. PРAA 03003 23820 55885 13004 29003 25013 26023 26030 26027 26513 26020  
77999

PPВВ 03003 23820 90123 17007 17004 15005 80248 15005 11002 26506 821//  
26027 21212 00003 13502 11/// 16511 22/// 17005 33/// 17504 44/// 11002  
55/// 06501 66/// 08502 77/// 29002 88/// 25507 99/// 24513 11/// 25530 22///  
26030 33/// 26515 44/// 26025 55/// 26010

PРAA 20122 28698 55785 04510 01019 01518 01023 00024 35018 35016 77999

PPВВ 20122 28698 90123 03505 04005 04506 80248 07506 02511 01515 821//  
35018 21212 00012 04505 11/// 03505 22/// 04605 33/// 04509 44/// 02510  
55/// 01020 66/// 01015 77/// 02020 88/// 01015 99/// 01525 11/// 00522 22///  
34020 33/// 35515

2. TТAA 26001 34731 99014 06329 07018 00189 07329 // 85457 06117 09006  
70956 13725 15007 50543 28360 33007 40700 37361 31521 30892 53259  
30526 25009 59958 29523 20147 59958 28519 15328 58959 28018 10582  
60159 28014 88237 61558 29019 77999

TTBB 2600/ 34731 00014 06329 11971 09321 22948 04119 33892 08115 44877  
05916 55855 05917 66694 14126 77620 21723 88613 22325 99583 22357  
11563 23558 22292 55159 33237 61558 44212 61558 55196 59158 41414  
854//

3. METAR LTAC 170050Z 03006KT 9999 SCT015 BKN035 OVC090 04/03  
Q1003

NOSIG RMK QFE751 =

METAR LTAF 170050Z 05005MPS 9999 -SHRA BKN025 BKN080 12/11  
Q1007

NOSIG =

METAR EDDS170050Z 21007KT 9999 FEW038 BKN058 00/M01 Q1029  
NOSIG=

4. TAF UJEE 161920Z 162106 20006MPS 6000 BKN010 SCT015CB TEMPO  
2106

0900 SHSN SCT004 BKN008 SCT010CB =

TAF URKK 161700Z 161803 20006G11MPS 9999 BKN020CB TEMPO 1803  
28010G15MPS 2000 SHRA BKN004 BKN020CB 530005 =

TAF UWGG 161600Z 161803 15004MPS 1800 SNRA BR OVC005 BKN010CB  
650050 TM01/20Z TEMPO 1803 0700 +SHSN BR VV003 =

#### *Вариант 5*

1. PPAА 25123 22550 55685 02006 01006 34506 32005 30504 77999  
PPBB 25123 22550 90123 33504 34506 34005 80248 35005 01005 35006 21212  
00998 35004 11/// 30511 22/// 33504 33/// 34505 44/// 01005 55/// 02505  
66/// 00505 77/// 07503 88/// 35006 99/// 36006

PPAA 21243 28225 55885 29511 29010 30023 31029 31045 31040 30045 20549  
77172 35080 44240

PPBB 21243 28225 90123 30008 31003 30013 80248 30014 28516 30519 821//  
31045 21212 00994 24004 11/// 30008 22/// 31010 33/// 28517 44/// 28506  
55/// 30021 66/// 31020 77/// 31030 88/// 30020 99/// 31525 11/// 31045

2. TТАА 26001 34880 99033 10305 11007 00232 07328 11516 85501 07162 12011  
70004 13328 13509 50549 27500 19007 40706 38905 22005 30898 52109  
20507 25016 58912 23508 20156 59112 28011 15338 57518 28510 10591  
59922 27512 88239 59912 25008 77999

TTBB 2600/ 34880 00033 10305 11985 05745 22944 05358 33907 05362 44788  
09364 55623 17105 66616 17904 77535 24300 88462 31100 99287 54910  
11239 59912 22146 57518 21212 00033 11007 11995 12016 22957 11014  
33916 13016 44818 12014 55779 14009 41414 00900

3. METAR UWGG 170700Z VRB01MPS 5000 BR SCT020 BKN100 M01/M01  
Q1003 NOSIG RMK QFE745 =

METAR ULAA 170700Z 02002MPS CAVOK M16/M17 Q1003 NOSIG RMK  
QFE751/1001 =

METAR BIKF 170630Z 12008KT 9999 FEW019 BKN055 BKN070 06/04  
Q0981 =

4. TAF ULLI 161645Z 161803 34008G13MPS 3000 SN DRSN OVC006  
BKN008CB

530001 TEMPO 1803 1000 SHSN BKN003 =

TAF URRR 161640Z 161803 24006G11MPS 1200SHSN BR BKN004  
BKN020CB

530005 TEMPO 1821 20009G14MPS 0300 FG OVC002 BKN020CB  
TEMPO

2103 28009G14MPS 0300FG OVC002 BKN020CB =

TAF ULAA 161650Z 161803 36006MPS 3000 BR SHSN SCT007CB TEMPO  
1803

0500 FZFG SHSN BKN002 =

*Вапуаиш 6*

1. PPAA 08113 20744 55885 22003 19506 23505 23506 25016 23016 18014 15010  
77999

PPBB 08113 20744 90123 26507 25001 22502 80248 22502 23003 22004 821//  
23016 21212 00998 27003 11/// 26506 22/// 24501 33/// 25503 44/// 20501  
55/// 20001 66/// 24004 77/// 10007 88/// 22504 99/// 24504 11/// 23006  
22/// 25506 33/// 25022

PPAA 18123 23274 55785 21513 21014 23017 24014 22516 24015 25517 77999

PPBB 18123 23274 90123 21007 20510 21014 80248 21014 21513 22014 821//  
24015 21212 00985 20504 11/// 22506 22/// 18510 33/// 20517 44/// 21514  
55/// 21014 66/// 23514 77/// 21514 88/// 23516 99/// 22520

2. TAA 26001 34560 99014 14528 09010 00245 10331 10509 85500 09564 11517  
70991 14960 12005 50545 30724 18004 40700 41523 16509 30890  
53123 22006 25006 56524 25007 20147 57125 30007 15329 58128  
28009 88268 56924 25007 77999

TTBB 2600/ 34560 00014 14528 11985 06341 22884 08566 33828 09966 44781  
11357 55757 11758 66694 15360 77618 20513 88511 31524 99501 30524  
11268 56924 22217 59124 33188 56125 44106 21212 00014 09010 41414  
30930

3. METAR LTAI 170050Z 17015KT 9999 BKN030 17/10 Q1000 NOSIG RMK  
QFE747 =

METAR LTBA 170050Z 36016KT 9999 BKN025 BKN090 04/M01 Q1008  
NOSIG

RMK QFE751 =

METAR LTBS 170050Z 14008KT 110V180 7000 -TSRA FEW020CB SCT025  
BKN080 14/12 Q0997 NOSIG RMK QFE745 =

4. TAF UUUW 161630Z 161803 20005MPS 5000 BKN007 BKN010CB TEMPO  
1803 0900 SHSN SCT004 BKN006 BKN010CB =

TAF UDD 161615Z 161803 20004MPS 4000 BKN007 SCT010CB TEMPO  
1803

0700 +SHSN SCT004 BKN007 SCT010CB =

TAF UBB 161345Z 161524 19006MPS 5000 BKN008 SCT010CB TEMPO  
1524

0900 SHSN SCT004 OVC006 SCT010CB =

*Вариант 7*

1. PRAA 01123 23330 55785 00507 02508 03007 03512 02513 02015 03012 77999  
PPBB 01123 23330 90123 02506 01506 01006 80248 00506 03006 03010 821//  
02015 21212 00003 04505 11/// 01510 22/// 03008 33/// 01006 44/// 01005  
55/// 04504 66/// 02508 77/// 02511 88/// 03006 99/// 04014

PRAA 09182 27612 55785 04509 03013 03021 03031 02530 02536 01524 71063  
02545 40522 70970 02040 41508

PPBB 09182 27612 90123 02505 04009 01509 80248 02009 02011 03016 821//  
02534 21212 00006 13503 11/// 08504 22/// 11502 33/// 03506 44/// 05506  
55///01014 66/// 04012 77/// 03510 88/// 03018

2. TAA 26001 33815 99007 03318 07004 00015 03716 09010 85420 06112 12511  
70940 09512 16510 50548 23140 23008 40708 35550 23010 30901 52748  
22516 25016 61946 22020 20156 62146 23012 15337 57550 26012 10592  
58350 27013 88234 62946 21520 77999

TTBB 2600/ 33815 00007 03318 11932 07510 22897 04311 33855 06312 44818  
04314 55755 08311 66670 09714 77657 18514 88653 18513 99641 18517  
11386 38156 22255 61346 33234 62946 44220 59546 21212 00007 07004  
11916 10508 22821 14505 33784 16506 44723 14509 55696 17010

3. METAR LTBJ 170020Z 35013KT 9999 SCT030 BKN090 06/03 Q1000 RERA  
NOSIG RMK QFE747 =

METAR LTBS 170020Z 14005KT 100V170 7000 -TSRA FEW020CB SCT025  
BKN080 13/12 Q0999 NOSIG RMK QFE745 =

METAR LTCG 170020Z 28005MPS 9999 SCT035 BKN100 11/10 Q1009  
NOSIG

RMK QFE 753 =

4. TAF UUEE 161620Z 161803 20006MPS 6000 BKN010 SCT015CB TEMPO  
1803

1000 SHSN SCT004 BKN008 SCT010CB =

TAF UWGG 161300Z 161524 15004MPS 1800 SNRA BR OVC005 BKN010CB  
M01/17Z TEMPO 1524 0700 +SHSN BR VV003 =

TAF URRR 161340Z 161524 13006G11MPS 2000 SHSN BR BKN005  
BKN020CB

TEMPO 1521 16009G14MPS 0300 FG OVC002 BKN020CB TEMPO 2124  
24009G14MPS 0300 FG OVC002 BKN020CB =

*Вариант 8*

1. PPAА 17003 35361 55685 27506 27008 28005 31505 30509 22508 77999  
PPBB 17003 35361 90123 27006 28009 27504 80248 27508 27005 27008  
821// 22508 21212 00990 24503 11/// 28006 22/// 27008 33/// 32005  
44/// 30509 55/// 21507 66/// 23511 77/// 22012 88/// 23510 99/// 22511  
  
PPAA 05003 20046 55885 34012 31013 28014 25514 23520 23515 23510 23514  
77999  
PPBB 05003 20046 90123 32012 33512 33514 80248 33511 33512 30014 821//  
23515 21212 00999 29002 11// 33508 22/// 33013 33/// 25013 44/// 23520  
55/// 23015 66/// 23515 77///23510 88/// 26015 99///23013 11/// 26010
2. TТАА 26002 27553 99018 12524 00000 00294 11526 36003 85553 09758 31004  
70041 16563 30504 50549 32957 31006 40703 43739 30509 30891 56125  
31507 25005 60526 31010 20145 581// 30506 88225 631// 31008 77999  
TTBB 2600/ 27553 00018 12524 11913 07750 22840 10559 33802 10162 44778  
11564 55625 21162 66578 25362 77364 48528 88333 52926 99225 631//  
11204 585// 21212 00018 00000 11985 09502 22945 07504 33905 32007  
44806 30003 55778 28003 41414 00900
3. METAR LPLA 170630Z 23004MPS -SHSN OVC010CB M01/M02 Q1003  
TEMPO  
0900 +SHSN RMK QFE 751  
METAR BIRK 170630Z 01003MPS 9999 OVC009 02/01 Q1010 RMK QFE753  
SC052 =  
METAR BGSF 170640Z 22005MPS 3000 -SHSN BKN007 OVC016CB  
M01/M02  
Q1003 NOSIG RMK QFE749 SC065 =
4. TAF ULAA 161350Z 161524 02006MPS 3000 BR -SHSN SCT007CB TEMPO  
1524 0500 FZFG BKN002 =  
TAF URKK 161400Z 161524 20010D15MPS 9999 BKN020CB TEMPO 1520  
26011G16MPS 2000 -SHSN SCT005 BKN020CB TEMPO 2024  
33006G11MPS 1000 -SHSNRA SCT003 BKN015CB =  
TAF UUUW 161330Z 161524 20005MPS 5000 BKN007 BKN010CB TEMPO  
1524 0900 SHSN SCT004 BKN006 BKN010CB =

*Вариант 9*

1. PPAА 13233 01384 55785 02503 35503 28008 25003 08502 08001 27503 77999  
PPBB 13233 01384 90123 01004 04006 05505 80248 00005 04001 28006 821//  
08004 21212 00995 02002 11/// 00508 22/// 05506 33/// 00502 44/// 04502  
55/// 00501 66/// 02506 77/// 27007 88/// 28509 99/// 23501 11/// 08502  
22/// 05508 33/// 09504  
  
PPAA 29173 07145 55885 35006 35010 35011 35510 34510 32509 23507 28507

77999

PPBB 29173 07145 90123 01007 36006 35007 80248 35007 35008 35011 821//  
32509 21212 00004 00003 11/// 01009 22/// 01006 33/// 35007 44/// 35506  
55/// 35012 66/// 35512 77/// 34512 88/// 33508 99/// 28507

2. TTAA 26001 26422 99024 06322 11004 00199 07520 05511 85467 07300 15009  
70960 13700 14004 50544 27344 22009 40701 38320 23009 30893 54116  
21010 25008 59316 22508 20148 58720 22505 15330 56125 28004 10587  
57532 30505 88238 60517 22509 77999

TTBB 2600/ 26422 00024 06322 11967 09312 22943 04111 33891 06500 44874  
07300 55850 07300 66800 10300 77755 10300 88603 21700 99588 20900  
11580 20305 22500 27344 33286 56316 44238 60517 41414 874//

3. METAR GVAC 170600Z 03004MPS 5000 HZ FEW015 SCT200 19/15 Q1015  
NOSIG =

METAR LCPH 170000Z 22014KT 9999 SCT020 FEW025CB BKN040 19/16  
Q1007 NOSIG RMK QFE755 =

METAR LTFC 170020Z VRB02MPS 9999 -SHSN BKN030 BKN090 07/05  
Q0999

NOSIG RMK QFE747 SC055 =

4. TAF UUUW 161330Z 161524 20005MPS 5000 BKN007 BKN010CB TEMPO  
1524 0900 SHSN SCT004 BKN006 BKN010CB =

TAF ULLI 160140Z 160312 03007MPS 1200 SHSN OVC004 BKN006CB  
TM01/05Z TEMPO 0312 0400 +SHSN +BLSN VV002 BECMG 0608  
35010G15MPS =

TAF ULMM 160200Z 160312 35005G12MPS 5000 -SHSN BKN013CB  
OVC080

TEMPO 0312 1000 SHSNVV003 =

*Вариант 10*

1. PPAA 18093 26063 55685 25508 28014 27518 26520 24017 22521 77999  
PPBB 18093 26063 90123 25509 25019 24509 80248 25009 24508 27516 821//  
22521

PPAA 15083 29634 55785 19005 17502 17508 14516 13016 17508 21509 77999  
PPBB 15083 29634 90123 26005 29005 25007 80248 24508 16003 16503 821//  
17508

2. TTAA 26001 34300 99007 21021 18005 00063 21022 18007 85505 12215  
18011

70996 01913 18520 50541 14157 19024 40738 22322 19033 30905 34760  
25020 44560 19027 20205 54960 19019 15300 52560 19514 10612 51760  
20005 88210 55360 19017 77280 19045

TTBB 2600/ 34300 00007 21021 11970 21820 22900 16616 33684 03114 44640  
03914 21212 00007 18005 11950 18009 22890 18010 33810 18512

3. METAR LTBR 170050Z 19005KT 8000 -SHSN BKN030 BKN090 01/00 Q1008  
NOSIG RMK QFE753 SC06 =  
METAR ULMM 170630Z 00000MPS CAVOK M30/M33 Q1003 NOSIG RMK  
QFE745 =  
METAR URKK 170630Z 35002MPS 6000 -SHSN BKN012 OVC030CB 03/02  
Q1010 NOSIG RMK QFE755 SC06 =
4. TAF UUEE 161320Z 161524 20006MPS 6000 BKN010 SCT015CB TEMPO  
1524  
1200 SHSN SCT004 BKN008 SCT010CB =  
TAF UUBB 160445Z 160615 17006G11MPS 5000 BKN008 SCT010CB  
TEMPO  
0615 0900 +SHSN RA OVC005 =  
TAF ULLI 160430Z 160615 20005MPS 5000 BKN009 BKN015CB TM00/08Z  
TEMPO 0615 1100 SHSN SCT004 BKN006 BKN010CB BECMG 0810  
25006G11MPS =

## СОСТАВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАЗРЕЗА АТМОСФЕРЫ

Цель работы: научиться правильно составлять и обрабатывать вертикальные разрезы атмосферы.

### Вертикальные разрезы атмосферы и их использование для метеорологического обеспечения полетов

Вертикальные разрезы атмосферы предназначаются для более наглядного представления условий погоды по какому-нибудь маршруту или району. При метеорологическом обеспечении полетов сверхзвуковых транспортных самолетов (СТС), а также при обеспечении так называемых «особо важных рейсов» вертикальные разрезы составляются всегда. В отдельных случаях они могут составляться также при обеспечении полетов по трассам большой протяженности, полетов по международным трассам и при обеспечении полетов в определенном районе.

На крупных АМСГ вертикальные разрезы иногда составляются по постоянным направлениям (например, южное, восточное и т.д.). Различают три типа вертикальных разрезов: пространственные, временные и пространственно-временные разрезы.

*Пространственные* разрезы строятся по результатам температурно-ветрового зондирования атмосферы, а также по данным инструментальных и визуальных наблюдений в один и тот же момент времени в нескольких пунктах. *Временные* разрезы составляются по данным наблюдений и измерений, а также по прогностическим данным в одном пункте. *Пространственно-временные* разрезы представляют собой графическое изображение авиационных прогнозов погоды по маршрутам полетов.

В данной работе рассматриваются правила построения и анализа только пространственных вертикальных разрезов, так как временные и пространственно-временные разрезы при метеорологическом обеспечении авиации используются крайне редко.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие виды вертикальных разрезов атмосферы составляются на АМСГ?
2. Для каких целей составляются на АМСГ вертикальные разрезы?

### *Материалы для работы*

1. Бланк вертикального разреза или лист миллиметровой бумаги.

2. Синоптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа или фактический синоптический материал (при его наличии по усмотрению преподавателя).

#### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГТМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология. - СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.– 352с.
3. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. – СПб.: Гидрометеоиздат, изд.2, 1992.– 272 с.
4. Богаткин О.Г., Тараканов Г.Г. Учебный авиационный метеорологический атлас. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Нанести данные на бланк вертикального разреза (трасса указывается преподавателем).
2. Обработать данные построенного вертикального разреза.
3. Проанализировать условия полетов по маршруту по данным вертикального разреза.

#### *Методические указания*

1. Выбрать горизонтальный и вертикальный масштабы для построения вертикального разреза. Масштабы выбираются произвольно, но с таким расчетом, чтобы использовалась практически вся площадь бланка. При проведении всех построений ограничиться уровнем 200 гПа (около 12000 м).
2. По маршруту наметить и отложить в масштабе по горизонтали не менее трех промежуточных пунктов. Из каждого пункта, включая начальный и конечный, провести вертикальную линию черным цветом (таких линий должно быть не менее пяти).
3. С учетом масштаба по высоте, используя приземную карту и карты барической топографии АТ-850, АТ-700, АТ-500, АТ-400, АТ-300 и АТ-200, на вертикальные линии на соответствующих высотах нанести следующую информацию:
  - температуру воздуха (слева от вертикальной линии красным цветом);
  - дефицит температуры точки росы (под значением температуры черным цветом);
  - высоту изобарической поверхности (черным цветом справа от вертикальной линии);
  - направление и скорость ветра (черным цветом стрелкой с оперением по стандартным правилам);

- под названием каждого пункта символами кода КН-01 нанести (снимается с приземной карты) фактическую погоду.
4. Перенести на бланк вертикального разреза положение атмосферных фронтов. Для этого в масштабе разреза отметить положение фронтов у земной поверхности по синоптической карте, а на различных уровнях – по картам барической топографии. В тех случаях, когда положение фронта по картам барической топографии определить трудно или невозможно, необходимо воспользоваться известными средними характеристиками: наклон теплого фронта примерно равен 1/100, наклон холодного фронта 1/50. Линия фронтальной поверхности на разрезе проводится до тех высот, на которых она прослеживается по картам барической топографии в полях облачности, температуры или ветра. Если на высотах фронтальная поверхность выражена недостаточно четко, то линии основных фронтальных разделов проводятся до уровня 500 или 400 гПа, а вторичных – до уровня 850 гПа. Фронтальная зона выделяется двойной линией (цвет линии определяется видом фронта), а пространство между ними закрашивается тем же цветом.
  5. Провести (красным цветом) изотермы, кратные 10°C, до температуры -50°C. В области тропопаузы, начиная с температуры -50°C и ниже, изотермы проводятся через 5°C.
  6. Провести изотахи, начиная со скорости ветра 100 км/ч, через 40 км/ч. В очаге наибольших значений надписывается (красным цветом) максимальная скорость ветра; изотахи проводятся сплошными зелеными линиями.
  7. Провести линию тропопаузы. Высота тропопаузы определяется или по карте тропопаузы, или по распределению температуры по высоте по данным зондирования. На вертикальных разрезах тропопауза выделяется сплошной волнистой линией коричневого цвета, выше которой пишется слово «Тропопауза».
  8. Выделить облачные слои у каждого пункта. Расслоенность облаков над пунктом выделяется по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы, т.е. по значениям дефицита температуры точки росы, нанесенным на карты барической топографии или бланк разреза. Верхняя и нижняя границы облачных слоев отмечается на разрезе волнистой синей линией; зона облачности закрашивается или заштриховывается синим цветом. Внутри каждого облачного слоя надписывается (черным цветом) латинское название облаков.
  9. Выделить опасные явления погоды на высотах. Для этого определить возможность возникновения на высотах над всеми пунктами обледенения и турбулентности. Слои с опасными явлениями погоды выделить волнистой сплошной красной линией, и в каждом слое символом указать вид явления.
  10. Выделить около каждого пункта опасные явления погоды у земли. На вертикальных разрезах определенным установленным цветом выделяются

грозы, метели, туманы, осадки и другие опасные явления, а в зоне этих явлений черным цветом надписывается значение видимости в них.

11. Проанализировать условия погоды по трассе. При анализе в соответствии с требованиями НМО ГА указать:
  - направление и скорость ветра по маршруту;
  - горизонтальную видимость и явления погоды;
  - характер облачности по маршруту;
  - наличие зон обледенения и турбулентности.

*Отчетный материал*

1. Обработанный в соответствии с методическими указаниями бланк вертикального разреза.
2. Отдельный лист с анализом условий погоды по трассе.

## СОСТАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА АВИАЦИОННЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ КАРТ ПОГОДЫ

Цель работы: научиться составлять и обрабатывать авиационные прогностические карты погоды (АКП).

### Авиационные прогностические карты погоды

Авиационные прогностические карты погоды (АКП) практически всегда используются при метеорологическом обеспечении воздушных судов гражданской авиации. При продолжительности полета более 5ч АКП выдаются каждому экипажу наряду с другими документами, содержащими метеорологическую информацию.

Различают следующие типы карт АКП:

1. Карты стандартных изобарических поверхностей для уровней 400, 300 и 200 гПа;
2. Карты особых явлений погоды для высоких уровней (от 400 до 150 гПа);
3. Карты особых явлений погоды для средних и высоких уровней (от 700 до 150 гПа);
4. Карты особых явлений погоды для низких уровней (ниже 700 гПа);
5. Карты ветра и температуры воздуха для стандартных изобарических поверхностей.

Указанные карты составляются 4 раза в сутки на фиксированные сроки 00, 06, 12 и 18 ч (по Гринвичу), а срок их действия считается равным 12 ч (по 6 ч в обе стороны от фиксированного времени). Все типы карт составляются в Главном авиаметеорологическом центре (ГАМЦ), в региональных центрах зональных прогнозов (РЦ ЗП) или на АМЦ для своей зоны ответственности. Все эти карты вместе с текстовыми прогнозами используются для метеорологического обеспечения экипажей.

На АКП стандартных изобарических поверхностей наносятся центры барических образований и изогипсы с указанием высоты соответствующей изобарической поверхности (через 8 гп дам), направление (стрелками между изогипсами) и скорость ветра (км/ч). Для расчета поля ветра используются градиентные линейки, соответствующие широте места, на которой прогнозируется ветер, и номограммы для определения поправок на кривизну изогипс.

На картах АКП уровней 400, 300 и 200 гПа прогностические значения температуры воздуха (°С) указываются цифрами в кружках со знаком «минус» и записываются в произвольном месте (примерно один раз через 5° широты и 10° долготы).

На АКП уровня 300 гПа дополнительно наносятся прогнозируемые положения осей струйных течений (жирными стрелками) с указанием макси-

мальной скорости ветра (км/ч) в числителе и высоты оси струйного течения (в десятках метров) в знаменателе.

На АКП уровня 200 гПа дополнительно проводятся изолинии отклонений температуры воздуха от стандартного значения ( $-56,5^{\circ}\text{C}$ ) через  $5^{\circ}\text{C}$  с выделением очагов тепла и холода. Для обеспечения полетов сверхзвуковых транспортных самолетов на карты уровня 200 гПа наносится также расположение вершин кучево-дождевых облаков.

На картах АКП особых явлений всех уровней отражаются сведения, касающиеся положения центров барических образований и атмосферных фронтов. Направление их смещения указывается стрелками, у которых надписывается предполагаемая скорость смещения (км/ч). Перемещение барических центров и атмосферных фронтов прогнозируется по правилам синоптической метеорологии.

Внутри зон особых явлений погоды, выделяемых на картах зигзагообразной линией, указывается количество и форма облаков, с которыми связаны особые явления погоды; высота (в десятках метров) верхней (числитель) и нижней (знаменатель) границ облачности. Условными обозначениями (см. приложение) указываются ожидаемые условия погоды, осложняющие выполнение полетов: гроза, град, умеренное или сильное обледенение, умеренная или сильная турбулентность (в облаках или при ясном небе), сильные шквалы и горные волны, высота тропопаузы и места вулканических извержений. При этом предполагается, что символы грозы и кучево-дождевой облачности одновременно указывают на наличие умеренной или сильной турбулентности, умеренного или сильного обледенения и града. Высота верхней и нижней границ слоев с явлениями надписывается дробью в десятках метров (в числителе пишется верхняя граница слоя, а в знаменателе – нижняя).

Зоны турбулентности при ясном небе очерчиваются пунктирной линией, внутри зоны указывается сокращенное наименование (ТЯН), наносится условное обозначение интенсивности турбулентности и подписываются высоты границ слоя.

На картах особых явлений верхняя и нижняя границы выделяемых слоев указываются в десятках метров наиболее вероятными средними значениями. Если какая-нибудь граница слоя с явлением выходит за пределы высот, для которых составлена карта АКП, то вместо числа в числителе или знаменателе ставится «XXX».

Карты особых явлений погоды для низких уровней оформляются аналогично, однако в выделяемых зонах особых явлений погоды дополнительно указывается информация о явлениях погоды, осложняющих полеты на средних и малых высотах. К таким явлениям относятся: обледенение (независимо от интенсивности), туман, осадки, метель, пыльная или песчаная буря и другие явления, ухудшающие видимость до значений менее 10 км, облачность всех форм, видимость у поверхности земли при ее значениях менее 10 км и высота нулевой изотермы.

Значения видимости у поверхности земли указываются одним наиболее вероятным средним значением после условного обозначения явления, ее ухудшающего. Значения видимости до 2 км указываются в метрах, более 2 км – в километрах.

Высота нулевой изотермы подписывается в десятках метрах и размещается внутри прямоугольников в выборочных точках карты.

Карты АКП, используемые для метеорологической консультации, обрабатываются в установленном порядке с целью более наглядного представления особенностей условий погоды, которые могут осложнить полет.

### *Контрольные вопросы*

1. На какие сроки составляются карты АКП?
2. На какие типы делятся карты АКП?
3. Перечислите данные, которые наносятся на карту особых явлений погоды для высоких уровней.
4. Какая информация используется для подготовки карт АКП для низких уровней?
5. Перечислите, какие данные наносятся на авиационную карту погоды изобарической поверхности 300 гПа.

### *Материалы для работы*

1. Синоптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа или другой синоптический материал, выданный преподавателем.
2. Бланк карты АКП.
3. Лист кальки.

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГТМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.– 352с.
3. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. – СПб.: Гидрометеоиздат, изд.2, 1992.– 272 с.
4. Богаткин О.Г., Тараканов Г.Г. Учебный авиационный метеорологический атлас. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990.
5. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО-ГА).
6. Указания по составлению авиационных прогностических карт погоды. – М.: Гидрометеоиздат, 1984. – 18с.

## *Порядок выполнения работы*

1. Составить и обработать АКП стандартной изобарической поверхности 400, 300 или 200 гПа (задание выдается преподавателем).
2. Составить и обработать карту особых явлений погоды.
3. Пользуясь АКП заданного уровня и картой особых явлений погоды, проанализировать метеорологические условия полета по указанной преподавателем трассе.

## *Методические указания*

1. Для составления карт АКП уровней 400, 300 или 200 гПа использовать соответствующую карту барической топографии из Атласа или карту, принятую по каналам связи в день занятий.
2. На чистый бланк АКП или на лист кальки, на котором нанесены контуры океанов, морей и крупных озер и указаны крупные города, перенести с карты барической топографии поле геопотенциала (карта указывается преподавателем); отметить центры барических образований, фронтальные раздели и указать скорость и направление их смещения.
3. На участках карты с шагом по широте не более  $5^{\circ}$ , а по долготе – не более  $10^{\circ}$  надписать (в кружках) осредненные значения температуры воздуха.
4. Стрелками между изогипсами указать направление ветра, а в разрыве стрелки надписать значение скорости ветра в км/ч с точностью до 10 км/ч.
5. На карте АКП уровня 300 гПа выделить жирной линией ось струйного течения и стрелкой указать направление ветра на оси струи. В разрыве стрелки надписать скорость ветра в км/ч (числитель) и высоту оси струйного течения в дам (знаменатель). Для определения характеристик струйного течения использовать карту максимального ветра или карты барической топографии за тот же срок. В последнем случае характеристики струйного течения придется прогнозировать обычным порядком.
6. На карте АКП уровня 200 гПа провести пунктиром изолинии отклонений температуры воздуха от стандартных значений (через  $5^{\circ}\text{C}$ ).
7. Обработать карту АКП. Для этого акватории морей и океанов закрасить синим цветом, красным треугольником отметить пункт вылета, а на карте АКП уровня 200 гПа закрасить области положительных отклонений температуры от стандартных значений красным цветом, а отрицательных отклонений – синим цветом.
8. Для составления карты особых явлений любого уровня на чистый бланк карты нанести положение барических центров с указанием давления в центре. Стрелкой показать ожидаемое направление смещения барического центра, около конца которой проставить прогностическую скорость его перемещения в км/ч с точностью до 5 км/ч.

9. Провести (скопировать с приземной карты) атмосферные фронты. Указать стрелкой направление и скорость их возможного перемещения, как это сделано для центров барических образований.
10. Волнистой зигзагообразной линией выделить зоны особых явлений погоды (зоны с однотипной погодой). Внутри каждой зоны указать количество, форму облачности, высоту ее верхней (числитель) и нижней (знаменатель) границ в десятках метров. Нанести в этих зонах ожидаемые условия погоды, осложняющие полеты. Высоту верхней и нижней границ зон умеренной или сильной турбулентности и умеренного или сильного обледенения указать дробью в десятках метров.
11. Зоны турбулентности при ясном небе сначала нужно спрогнозировать обычным порядком, а затем очертить пунктирной линией. Внутри каждой зоны надписать сокращенное наименование (ТЯН), указать символом интенсивность атмосферной турбулентности и подписать верхнюю и нижнюю границы зон ТЯН дробью в десятках метров.
12. Обработать карту особых явлений погоды. Для этого следует «поднять» карту, отметить пункт вылета и соответствующим цветом «поднять» атмосферные фронты. Условные обозначения осадков и метели выделить зеленым цветом, грозы, града, пыльной бури, обледенения и турбулентности – красным цветом, а видимость в явлениях подписать черным цветом.

#### *Отчетный материал*

1. Составленная и обработанная карта АКП стандартной изобарической поверхности.
2. Составленная и обработанная карта особых явлений погоды для уровня, указанного преподавателем.
3. Написанный на отдельном листе анализ метеорологических условий полета по трассе, указанной преподавателем.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Символы для обозначения на картах АКП атмосферных фронтов и других характеристик атмосферы

	Холодный фронт на поверхности		Центр низкой тропопаузы
	Теплый фронт на поверхности		Высота тропопаузы
	Фронт окклюзии на поверхности		Уровень нулевой изотермы
	Квазистационарный фронт на поверхности		Положение, скорость и уровень максимального ветра
	Центр высокой тропопаузы		Извержение вулкана
	Линии конвергенции		Внутритропическая зона конвергенции

### Символы для обозначения на картах АКП особых явлений погоды

	Гроза		Морось
	Тропический циклон		Дождь
	Сильный фронтальный шквал		Снег
	Умеренная турбулентность		Ливень
	Сильная турбулентность		Низовая метель
	Горные волны		Сильная песч./пыльн. буря
	Слабое обледенение		Обложная песч./пыльн. буря
	Умеренное обледенение		Обложная мгла
	Сильное обледенение		Обложная дымка
	Обложной туман		Обложной дым
	Град		Переохлажденные осадки (гололед)

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель работы: выполнить весь комплекс работ, необходимых при метеорологическом обеспечении полетов.

### Сущность и принципы комплексного анализа атмосферных процессов при метеорологическом обеспечении полетов

Сущность комплексного анализа атмосферных процессов заключается в изучении состояния атмосферы в заданном районе с помощью карт погоды и других материалов. При комплексном анализе определяется расположение, смещение, свойства и эволюция воздушных масс, атмосферных фронтов, барических систем и условий погоды. Устанавливаются закономерности, которые были и существуют в развитии синоптических процессов, и делаются выводы о предполагаемом их дальнейшем развитии.

Цель комплексного анализа – исходя из прошлого и настоящего в развитии синоптических процессов, определить будущее, т.е. дать прогноз. Следовательно, комплексный анализ атмосферных процессов предшествует прогнозу и является его основой.

Основные принципы комплексного анализа следующие: сопоставление (сравнение), показательность (репрезентативность), физическая логика, историческая последовательность и трехмерность.

Только грамотное использование всех принципов комплексного анализа позволяет успешно разработать авиационные прогнозы погоды и обеспечить летный состав и работников службы движения данными об ожидаемой погоде. В целях обеспечения полетов синоптики АМСГ (АМЦ) разрабатывают следующие основные виды авиационных прогнозов погоды: суточный прогноз, оперативный прогноз по аэродрому, прогноз погоды по маршруту полета и много-много других.

*Суточный прогноз погоды* предназначен для планирования летной работы на следующие сутки. Он составляется по местному времени с 18 ч до 18 ч следующих суток и состоит из двух частей: прогноза на ночь (с 18 до 06 ч) и прогноза на день (с 06 до 18 ч).

В суточный прогноз погоды, в каждую его часть, включаются в указанной последовательности следующие прогностические величины: направление и скорость ветра у земли, видимость у земли, явления погоды, количество, форма и высота нижней границы облаков и температура воздуха (в прогнозе на ночь – минимальная, в прогнозе на день – максимальная).

*Оперативные прогнозы погоды* предназначены для обеспечения взлета, посадки воздушных судов и передачи по каналам связи в соседние аэропорты. Эти прогнозы составляются на срок 6,9 или 12 ч с интервалом 3 ч или на

срок 18 и 24 ч с интервалом 6 ч (Международная организация гражданской авиации рекомендует разрабатывать прогнозы на 9 ч).

В оперативные прогнозы погоды в указанной последовательности включается следующая информация: ветер у земли (направление и скорость), видимость у земли, явления погоды, облачность (количество, форма, высота нижней границы), температура воздуха у земли (если она выше  $25^{\circ}\text{C}$ , ниже  $-30^{\circ}\text{C}$  или за срок прогноза переходит через  $0^{\circ}\text{C}$  к отрицательным значениям), обледенение или турбулентность (нижняя и верхняя границы слоя и интенсивность явления), высота верхней границы облаков (только для облачности нижнего яруса и вертикального развития), закрытие естественных и искусственных препятствий облаками и направление и скорость ветра на высоте круга.

*Маршрутные прогнозы погоды* разрабатываются для обеспечения полетов по маршрутам. Срок действия этих прогнозов должен превышать расчетное время полета на 30 мин. При полетах по трассе в маршрутные прогнозы погоды включается следующее: явления погоды (если ожидается гроза или град), количество и форма облаков (если ожидается кучево-дождевая или мощная кучевая облачность), отклонение температуры воздуха от стандартных значений (если оно больше  $5^{\circ}\text{C}$  по абсолютной величине), данные о прогнозе обледенения и турбулентности, высоты верхней границы облачности (только для облаков нижнего яруса и вертикального развития), направление и скорость ветра на эшелоне полета и данные о прогнозе струйных течений.

Все авиационные прогнозы погоды должны быть разработаны за час до начала срока их действия, а метеорологические величины в них указываются в соответствии с требованиями НМО ГА.

Помимо прогнозов погоды специалистам диспетчерской службы и экипажам воздушных судов на АМСГ (АМЦ) дается устная консультация, которая включает в себя данные о фактической погоде аэродрома вылета, посадки и запасных аэродромов, прогноз синоптического положения, маршрутный прогноз погоды или прогноз по району, а также данные бортовой погоды.

Такую устную консультацию должен получить каждый экипаж, каждый диспетчер.

### *Контрольные вопросы*

1. В чем заключается сущность комплексного анализа атмосферных процессов при метеорологическом обеспечении полетов?
2. Как часто и на какие сроки могут разрабатываться на АМСГ оперативные прогнозы погоды?
3. Какой порядок изложения метеорологических величин в суточных прогнозах погоды?
4. Каковы последовательность изложения и содержание устной консультации экипажа воздушного судна?

5. Какую информацию сообщает синоптик АМСГ дежурной смене РЦ ЕС ОрВД?

### *Материалы для работы*

1. Синоптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа или другая информация, выданная для анализа преподавателем.
2. Бланк вертикального разреза или лист миллиметровой бумаги.
3. Авиационные метеорологические коды.

### *Рекомендуемая литература*

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005.
2. Баранов А.М., Богаткин О.Г. и др. Авиационная метеорология. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992.– 352с.
3. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. – СПб.: Гидрометеиздат, изд.2, 1992.– 272 с.
4. Богаткин О.Г., Тараканов Г.Г. Учебный авиационный метеорологический атлас. – Л.: Гидрометеиздат, 1990.
5. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМО ГА)

### *Порядок выполнения работы*

1. Оценить синоптическую обстановку по маршруту полета и дать ее прогноз.
2. Разработать суточный прогноз по аэродрому вылета.
3. Разработать оперативные прогнозы погоды по аэродромам вылета, посадки и запасному аэродрому и закодировать их кодом TAF.
4. Подготовить устную консультацию о погоде по маршруту полета для экипажа.
5. Построить вертикальный разрез атмосферы по маршруту полета.

### *Методические указания*

1. Для выполнения работы использовать трассу, а также заданную скорость полета (число  $M$ ), указанные преподавателем.
2. Оценку синоптической обстановки по трассе провести по картам погоды из Учебного авиационного атласа, или другого синоптического материала, предоставленного для анализа. При анализе особое внимание обратить на барические образования, через которые проходит маршрут полета, оценить стадию их развития, направление и скорость перемещения, а также эволюцию.

3. Прогноз синоптической обстановки разрабатывать из предположения, что вылет самолета по маршруту состоится через 1 ч после срока «последней» синоптической карты, имеющейся в вашем распоряжении.
4. Для прогноза синоптической обстановки использовать традиционные методы синоптической метеорологии, сообразуясь с возможностями синоптического материала.
5. При разработке прогноза синоптического положения и прогноза по маршруту учесть, что срок прогноза должен превышать время полета по трассе не менее чем на 30 мин.
6. Разработку суточного прогноза погоды и прогноза по маршруту проводить с учетом требований НМО ГА.
7. Оперативные прогнозы погоды для аэродрома вылета, посадки и запасного разработать на срок 9 ч, который указывается преподавателем.
8. Запасной аэродром выбрать самостоятельно на удалении 300-500 км от указанного аэродрома посадки.
9. При подготовке консультации использовать самостоятельно разработанные прогнозы погоды. В качестве фактической погоды аэродромов условно использовать данные о погоде, нанесенные на синоптическую карту.
10. Консультацию подготовить в соответствии с требованиями НМО ГА, а ее текст записать на отдельном листе.
11. Вертикальный разрез атмосферы по маршруту полета построить для своей трассы. Требования к построению вертикальных разрезов изложены в лабораторной работе 13.
12. Все разработанные прогнозы погоды записать или на специальный бланк, или на тот же лист, где записана консультация о погоде для экипажа.

### *Отчетный материал*

1. Разработанный суточный прогноз погоды для аэродрома вылета, записанный на отдельном листе.
2. Разработанные и записанные на бланк или отдельный лист оперативные прогнозы погоды для аэродрома вылета, посадки и запасного аэродрома.
3. Телеграммы оперативных прогнозов погоды для аэродрома вылета, посадки и запасного аэродрома, закодированные кодом TAF, и записанные на отдельный лист.
4. Текст прогноза по маршруту полета и текст консультации, записанные на отдельном листе.
5. Вертикальный разрез по маршруту полета, построенный на специальном бланке или на листе миллиметровой бумаги.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Авиационные прогностические карты погоды (АКП)  
обработка АКП 116-120  
типы АКП 116

Аэрологическая диаграмма 13  
построение 14,15  
выделение облачных слоев 18  
выделение фронтальной зоны 16  
определение возможности возникновения гроз 21  
определение зон возможного обледенения 19  
определение конденсационных облачных следов за самолетом 19  
определение максимальной скорости ветра при грозах 21  
определение максимальной температуры воздуха 19  
определение относительной влажности 21  
определение температуры туманообразования 21  
определение толщины КНС 21  
определение уровня конвекции 16  
определение уровня конденсации 16

Аэрологические коды  
для передачи результатов наблюдений за ветром (КН-03) 101  
для передачи результатов температурно-ветрового зондирования атмосферы (КН-04) 101

Атмосферная турбулентность  
динамическая 49  
механическая 49  
термическая 49  
ТЯН 50

Барометрическая ступень 33  
Барометрическая формула 34  
Болтанка самолетов 49

Вертикальный разрез атмосферы  
временной 113  
пространственный 113  
пространственно-временной 113

Длина пробега самолета 37  
Длина разбега самолета 37

Комплексный анализ атмосферных процессов 123-126  
Критические значения параметров конвекции 82

Международные метеорологические авиационные коды  
код METAR 101  
код TAF 102  
Метеорологическое обеспечение полетов 123-124

Навигационный треугольник скоростей 37

Облачность 57  
Обледенение 91  
Опасные явления погоды 122

Полет самолета  
Дальность 37,38  
Продолжительность 37  
радиус действия 37  
Поголок самолета 33  
Прогноз болтанки самолетов 49  
Прогноз низкой облачности 57  
Прогноз обледенения самолетов 91  
Прогноз гроз 81  
Прогноз струйных течений 44  
Прогноз туманов 69

Расход топлива 26  
километровый 26  
часовой 26

Сдвиг ветра 37  
Скороподъемность 33  
Скорость ветра 37  
Скорость полета  
воздушная 37  
путевая 37

Стандартная атмосфера 4  
Струйное течение 44

Туманы  
адвективные 69,74  
внутримассовые 69  
испарения 69  
охлаждения 69-70  
радиационные 72  
смещения 71  
фронтальные 69

Тяга двигателя  
потребная 33  
располагаемая 33  
избыток тяги 34

Угол атаки 5

Хорда крыла 5

Этапы полета самолета и вертолета  
горизонтальный полет 26  
набор высоты 33  
планирование 37  
посадка 37  
снижение 37

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
<b>I. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ НА ПОЛЕТ ВОЗДУШНОГО СУДНА .....</b>	<b>4</b>
Лабораторная работа 1	
Анализ отклонений параметров атмосферы от стандартных значений .....	4
Лабораторная работа 2	
Использование аэрологической диаграммы для анализа условий погоды.....	13
Лабораторная работа 3	
Анализ влияния температуры на продолжительность полета по трассе и расход топлива.....	26
Лабораторная работа 4	
Определение потолка самолета.....	33
Лабораторная работа 5	
Оценка влияния ветра на полет воздушного судна.....	37
Лабораторная работа 6	
Диагноз и прогноз струйных течений .....	44
Лабораторная работа 7	
Диагноз и прогноз атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов.....	49
Лабораторная работа 8	
Диагноз и прогноз облачности.....	57
Лабораторная работа 9	
Диагноз и прогноз туманов .....	69
Лабораторная работа 10	
Прогноз опасных для авиации атмосферных явлений, обусловленных конвекцией .....	81
Лабораторная работа 11	
Диагноз и прогноз обледенения .....	91
<b>II. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ</b>	
Лабораторная работа 12	
Использование метеорологических авиационных кодов при обмене метеорологической информацией.....	101
Лабораторная работа 13	
Составление вертикального разреза атмосферы .....	113
Лабораторная работа 14	
Составление и обработка авиационных прогностических карт погоды .....	117
Лабораторная работа 15	
Комплексный анализ атмосферных процессов.....	123
Предметный указатель .....	127

*Учебное издание*

**Олег Георгиевич Богаткин**

**ПРАКТИКУМ ПО АВИАЦИОННОЙ  
МЕТЕОРОЛОГИИ**

Редактор О. С. Крайнова  
ЛР № 020309 от 30.12.96

---

Подписано в печать 28.05.2005 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Объем 8,125 п. л. Тираж 300 экз. Заказ № 80.  
РГГМУ, 195196, СПб., Малоохтинский пр., 98

---

Отпечатано с готового оригинал-макета в ЦНИТ «АСТЕРИОН»  
Санкт-Петербург, 191015, а/я 83,  
тел. /факс (812) 275-73-00, 275-53-92, тел. 970-35-70