



4. Макаров В. З., Афанасьев С. Ю., Баранов В. А., Бобров Г. С., Волков С. А., Пичугина Н. В., Пролёткин И. В., Салмов И. Д., Самкова Т. В., Суворцева О. В., Чумаченко А. Н. Комплексные экологические исследования и мониторинг загрязнения почв и снежного покрова г. Саратова (по программе ЭМОС) : отчет о НИР / Комитет по экологии и природным ресурсам г. Саратова. Саратов, 1993. 187 с. Инв. № 93/14.
5. Макаров В. З., Пролёткин И. В., Чумаченко А. Н., Фёдоров А. В., Салмов И. Д., Афанасьев С. Ю. Проведение снегомерной съемки и опробование снежного покрова территории г. Саратова : отчет о НИР / Комитет по экологии и природным ресурсам г. Саратова. Саратов, 1994. 123 с. Инв. № 94/7.
6. Доклад о состоянии окружающей природной среды г. Саратова в 1992–1993 гг. / С. А. Артемьев, В. Н. Ерёмин, В. А. Кононов, Б. А. Колодочка, В. З. Макаров, И. В. Пролёткин. Саратов, 1994. 149 с.
7. Молоствовский Э. А., Кононов В. А., Артемьев С. А., Ерёмин В. Н., Фролов И. Ю., Абакишин О. В. Опробование снегового покрова и аналитический контроль геохимических проб на территории г. Саратова : отчет о НИР / Комитет по экологии и природным ресурсам г. Саратова. Саратов, 1997. 162 с. Инв. № 97/45.
8. Фролов И. Ю. Пылевое загрязнение территории г. Саратова по результатам снегомерной съемки 1997 года //

Проблемы геоэкологии Саратова и области. Саратов, 1998. Вып. 2. 96 с.

9. Макаров В. З., Молоствовский Э. А., Новаковский Б. А., Суворцева О. В., Чумаченко А. Н. Структура и динамика техногенных геохимических полей на территории Саратова // Изв. Сарат. ун-та. Новая серия. 2009. Т. 9. Сер. Науки о Земле, вып. 2. С. 3–13.
10. Решетников М. В. Результаты снеговой съёмки 2005 г. на территории Октябрьского и Фрунзенского районов г. Саратова // Геологи XXI : материалы VII Всерос. науч. конф. студ., асп. и молодых спец. / под ред. Е. Н. Волковой. Саратов, 2006. С. 138.
11. Решетников М. В., Гребенюк Л. В., Смирнова Т. Д. Результаты геохимической снеговой съёмки локального участка территории г. Саратова // Изв. Сарат. ун-та. Новая Серия. 2010. Т. 10. Сер. Науки о Земле, вып. 1. С. 74–80.
12. Макаров В. З., Чумаченко А. Н., Иванов А. В., Решетников М. В., Суворцева О. В. Методологические, информационные и организационные основы комплексного геоэкологического мониторинга крупного промышленного города как одно из условий устойчивого развития сложных природно-техногенных систем : отчёт о НИР / Комитет по экологии и природным ресурсам г. Саратова. Саратов, 2010. 130 с. Инв. № 26.

УДК 551.5:629.73

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПОЛЕТ САМОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

С. Н. Лапина, И. А. Орлова

Саратовский государственный университет
E-mail: kafmete@sgu.ru

На эшелонах полета в верхней тропосфере и нижней стратосфере резко меняется температура воздуха, которая влияет на скорость полета, расход топлива и высоту потолка самолета. В статье приведены расчеты указанных летно-технических характеристик в зависимости от температуры по трассам полета при пересечении высотных циклонов и антициклонов.

Ключевые слова: температура, скорость полета, расход топлива, совмещенные карты погоды, ГИС-Метео.

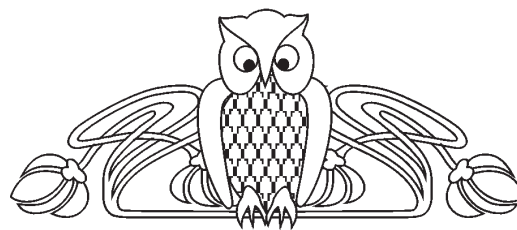
Estimation of Atmospheric Parameters and their Effects on Aircraft Flight using GIS-Technology

S. N. Lapina, I. A. Orlova

At echelons of airplane lying in the upper troposphere and low stratosphere, air temperature varies sharply, which affects the speed of airplane, fuel consumption and height of the airplane ceiling. The paper presents calculations of these characteristics of the aircraft depending on the temperature on the routes crossing of cyclones and anticyclones.

Key words: temperature, speed of airplane, fuel consumption, combined weather map, GIS-Meteo.

Основной задачей авиационного метеослуживания является обеспечение безопасности, регулярности и экономичности полетов.



Параметры атмосферы влияют на многие летно-технические характеристики самолетов. На эшелонах полета в верхней тропосфере и нижней стратосфере при пересечении высотных циклонов и антициклонов резко меняется температура воздуха, которая влияет на скорость полета, расход топлива и высоту потолка самолета.

Распределение температуры по высотам в циклонах и антициклонах, так же как и высота тропопаузы, определяется различным характером вертикальных движений в них. Так, температура в антициклонах на всех уровнях в тропосфере выше, чем в циклонах, а в стратосфере наоборот. Соответственно высота тропопаузы в циклонах на 1,5–2 км ниже, чем в антициклонах [1, 2]. Коэффициенты корреляции, рассчитанные между давлением и температурой на различных высотах в центрах барических образований, составляли от 0,73 до 0,86 [3].

Влияние температуры на летно-технические характеристики самолета во время полета проявляется непосредственно через плотность и скорость звука. Повышение температуры приводит к увеличению скорости горизонтального полета. На трассах большой протяженности воздушная скорость на эшелоне полета, обусловленная изменением температуры по маршруту, может достигать 40–50 км/ч и более [4, 5].



От температуры воздуха зависит сила тяги двигателя. При данном числе оборотов она уменьшается по мере повышения температуры на уровне полета, тем самым изменяется и расход топлива. В течение короткого времени сила тяги может уменьшаться (увеличиваться) на 5–10%. Через изменение силы тяги температура воздуха влияет на потолок самолета.

Наибольшее изменение температуры и соответственно летно-технических характеристик самолета происходит при пересечении различных барических образований, а также разнородных воздушных масс. Целью исследования было показать на конкретных примерах изменение скорости

самолета, расхода топлива и высоты потолка под влиянием температуры при полете в разных барических полях. Имея комплект синоптических карт, принятых по сети Интернет в режиме реального времени, были намечены условные маршруты полета самолетов ИЛ-62 (эшелон 300 гПа) и ТУ-244 (эшелон 200 гПа), проходящие через центры высоких циклонов и антициклонов или вблизи них. Всего было проанализировано 122 маршрута за 2009–2011 гг.

Синоптическая карта, созданная с помощью программы ГИС-Метео с наложением различных слоев информации за один и тот же срок представлена на рис. 1.

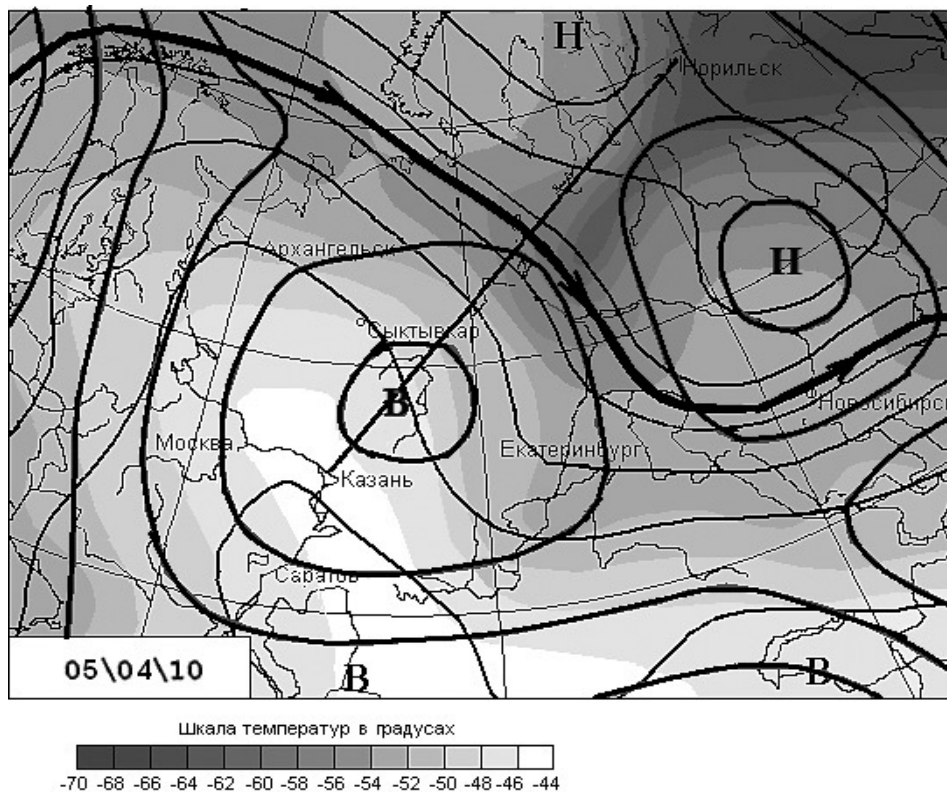


Рис. 1. Совмещенная карта приземного (линии средней толщины), высотного – 300 гПа (тонкие линии) барических полей, поля температуры на высоте стандартной атмосферы (СА) (градиентная заливка), ось струйного течения (жирная линия)

На маршруте полета Казань – Норильск располагается антициклон с центром южнее Сыктывкара и циклон с центром в районе Нижневартовска, прослеживаемые до уровня 300 гПа.

При пересечении этих барических систем на высоте полета резко меняется фон температуры. Отклонение температуры от стандартного ее значения ($-43,5^{\circ}\text{C}$) в антициклоне составляет $-0,5^{\circ}\text{C}$, отклонение в циклоне составляет $-20,5^{\circ}\text{C}$. Высота тропопаузы в пунктах, через которые проходит маршрут полета, менялась от 8 км в циклоническом поле до 11 км в антициклоническом поле.

Как известно, между высотными циклонами и антициклонами наблюдаются большой градиент

геопотенциала и связанная с ним зона струйного течения. На данном маршруте ось струйного течения проходит почти перпендикулярно маршруту полета, поэтому при пересечении его зоны самолет будет испытывать сильную болтанку, что осложнит его полет [6].

В работе было оценено наличие струйных течений при подобном сочетании барических полей. Они отмечались в 95% случаев, причем в зимний период они были более интенсивными, скорость их достигала 260 км/ч.

Результаты расчетов изменения летно-технических характеристик самолета ИЛ-62 при полетах по маршрутам на высоте 9000 м представлены в табл. 1 и 2.



Обращает на себя внимание разброс температуры и отклонение ее от СА в циклонах и антициклонах – от положительных до отрицательных значений. В основном преобладает отрицательное отклонение температуры от -4 до -18°C .

В целом разность температуры на маршрутах при пересечении циклонических и антициклонических полей составляла от 8 до 14°C .

Эти изменения температурного фона оказали влияние на воздушную скорость полета, которая соответственно менялась от 851 км/ч при полете в циклонах до 900 км/ч при полете в антициклонах. Менялся также расход топлива на величину до 245 кг/ч, разница в расчете потолка самолета при пересечении циклонов и антициклонов составляла 700 - 350 м.

Таблица 1

Летно-технические характеристики самолета при полете по маршрутам, пересекающим циклоны и антициклоны на эшелоне полета 300 гПа

Маршрут	Характеристики								
	Длина, км	Отклонение температуры от СА, $^{\circ}\text{C}$		Изменение температуры, $^{\circ}\text{C}$	Скорость самолета, км/ч		Изменение скорости, км/ч	Изменение расхода топлива, кг/ч	Изменение потолка самолета, м
		в Zn	в Az		в Zn	в Az			
Ленск – СПб	4380	-15	-5	10	857	877	20	192	500
Тура – Осло	4400	-18	-10	8	851	867	16	155	400
Диксон – Лиссабон	5570	-9	5	14	869	894	25	245	650
Верхоянск – Киев	5540	-18	-10	8	851	867	16	155	400
СПб – Дублин	2340	-6	4	10	875	892	17	169	450
Харьков – Диксон	3300	-6	8	14	873	900	27	263	700
Москва – Рим	2790	-4	3	7	879	892	14	131	350
СПб – Ханты-Мансийск	2430	-4	8	12	877	900	23	225	600
Екатеринбург – Диксон	2370	-6	5	11	875	896	21	207	550

Примечание. Здесь и далее: СА – стандартная атмосфера; Zn – циклон; Az – антициклон.

Таблица 2

Летно-технические характеристики самолета при полете по маршрутам в однородном барическом поле на эшелоне 300 гПа

Маршрут	Характеристика								
	Длина, км	Отклонение температуры от СА, $^{\circ}\text{C}$		Изменение температуры, $^{\circ}\text{C}$	Скорость самолета, км/ч		Изменение скорости, км/ч	Изменение расхода топлива, кг/ч	Изменение потолка самолета, м
		1	2		1	2			
Минск – Ханты-Мансийск	2600	-2,1	-1,3	0,8	882	883	1	15	40
Киев – Актюбинск	1875	-9,3	-8	1,3	868	870	2	25	65
Диксон – Иркутск	2640	-15	-14	1	852	850	2	19	50
Новая Земля – Самара	1950	-17,2	-18	0,8	853	851	2	16	40
Омск – Иркутск	2040	-13	-12	1	861	863	2	19	50

На маршрутах, проходящих в однородных барических полях, изменения температуры по трассам, даже ориентированным меридионально, не превышало $1,5^{\circ}\text{C}$. При таком небольшом колебании температуры по маршруту скорость изменялась не более чем на 2 км/ч, расход топлива – на 25 кг/ч и потолок самолета – на 65 м. Эти колебания летно-технических характеристик самолета можно считать незначительными.

В качестве примера изменения температуры при полетах в нижней стратосфере на эшелоне

200 гПа на рис. 2 представлена синоптическая карта, с наложением различных слоев информации за $13.07.2010$ г.

Как видим, на маршруте полета Санкт-Петербург – Новосибирск в районе Архангельска расположен центр антициклона, в районе Нижневартовска – центр циклона, которые прослеживаются до уровня 200 гПа. Отклонение температуры от стандартного значения ($-56,5^{\circ}\text{C}$) в антициклоне составляет $-3,5^{\circ}\text{C}$, а в циклоне $+14,5^{\circ}\text{C}$.



Ось струйного течения проходит перпендикулярно маршруту полета, поэтому в данном случае более целесообразно проложить маршрут через Самару или Актюбинск, минуя участки с резким

колебанием температуры и используя попутный ветер в зоне струйного течения, тем самым обеспечив безопасность полета и сократив его время и расход топлива.

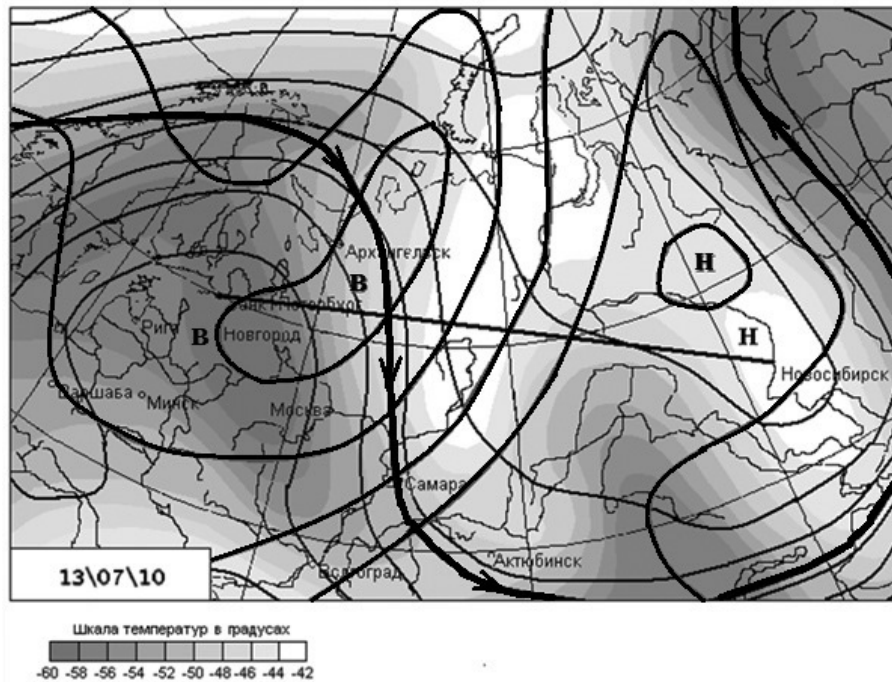


Рис. 2. Совмещенная карта приземного (линии средней толщины), высотного – 200 гПа (тонкие линии) барических полей, поля температуры на высоте (градиентная заливка), ось струйного течения (жирная линия)

Результаты расчета летно-технических характеристик самолета ТУ-244 на маршрутах, пересекающих высотные циклоны и антициклоны на одной высоте полета (1200 м) приведены в табл. 3. В антициклонах преобладали отрицательные отклонения температуры от СА, их величина составляла от -1 до -4°C , в циклонах же наблюдались положительные отклонения температуры от 10 до 19°C .

Разность температур на маршрутах при пересечении циклонических и антициклонических полей составляла от 14 до 20°C . Скорость полета соответственно менялась от 953 км/ч при полете в циклонах до 905 км/ч при полете в антициклонах. Менялся также расход топлива на величину до 479 кг/ч, разница в расчете потолка самолета при пересечении циклонов и антициклонов составляла 700–1000 м. В то же время изменение температуры по трассам, проходящим в однородных полях, даже ориентированным меридионально, не превышало $1,5^{\circ}\text{C}$. При таком небольшом колебании температуры по маршруту скорость изменялась на 3 км/ч, расход топлива – на 38 кг/ч и потолок самолета – на 75 м. Эти изменения летно-технических характеристик самолета при полетах на значительные расстояния считаются незначительными.

Если сопоставить значения рассчитанных характеристик (см. табл. 1 и 3) при полетах в верхней тропосфере (300 гПа) и нижней стратосфере (200 гПа), то необходимо обратить внимание на следующее. На одной и той же высоте полета при пересечении высотных циклонов и антициклонов как изменение температуры, так и связанные с ней скорость полета, расход топлива и высота потолка самолета на высоте 12 км в 1,5–2 раза и более по абсолютным величинам превышают их значения на высоте 9 км.

Например, на маршруте Москва – Рим на эшелоне полета 300 гПа изменение температуры составило 7°C , скорость полета изменялась на 14 км/ч, расход топлива – на 131 кг/ч, а высота потолка – на 350 м. При полета на эшелоне 200 гПа указанные характеристики соответственно изменялись на 16°C , 33 км/ч, 800 м. Такие соотношения наблюдались во всех рассмотренных случаях. Видимо, стратосфера является более чувствительной по сравнению с тропосферой и требует более внимательного ее изучения и исследования.

Таким образом, на конкретных примерах показано, что при пересечении циклонических и антициклонических полей на одной и той же высоте полета самолета в верхней тропосфере



Таблица 3

Летно-технические характеристики самолета при полете по маршрутам, пересекающим циклоны и антициклоны на эшелоне полета 200 гПа

Маршрут	Характеристики								
	Длина, км	Отклонение температуры от са, °С		Изменение температуры, °С	Скорость самолета, км/ч		Изменение скорости, км/ч	Изменение расхода топлива, кг/ч	Изменение потолка самолета, м
		В zn	В az		В zn	В az			
Лиссабон – Рим	1890	10	-4	14	934	905	29	340	700
Лондон – Афины	2370	15	-1	16	943	911	32	385	800
Санкт-Петербург – Рейкьявик	2170	17	-3	20	947	907	40	457	950
Москва – Актюбинск	1425	16	-2	18	945	909	36	430	900
Москва – Эдинбург	2520	15	-1	16	943	911	32	385	800
Харьков – Диксон	3300	18	-2	20	949	909	40	479	1000
Москва – Рим	2790	13	-3	16	941	907	34	385	800
СПб – Ханты-Мансийск	2430	16	-3	19	945	907	38	457	950
Екатеринбург – Диксон	2370	19	-1	20	953	912	41	479	1000

и нижней стратосфере имеют место существенные колебания температуры. Эти колебания оказывают влияние на летно-технические характеристики самолетов. В связи с этим возрастает значимость предполетной консультации экипажей с подробным анализом синоптических процессов, которые проводятся по картам погоды с акцентом на изменение температуры на высоте полета при пересечении разных барических полей (особенно центров циклонов и антициклонов).

Использование наложения слоев различной информации на карты погоды, которое можно осуществить с помощью программы ГИС-Метео, дает возможность зрительно представить условия погоды на различных участках полета, что экономит время синоптика, проводящего консультацию, а командованию проложить наивыгоднейший маршрут, минуя участки с резкими колебаниями температуры и с учетом поля ветра, обеспечив безопасность и экономичность полета.

Библиографический список

1. Хромов С. П. Основы синоптической метеорологии. Л. : Гидрометеиздат, 1948. С. 379–421.
2. Курс метеорологии / под ред. П. Н. Тверского. Л. : Гидрометеиздат, 1951. С. 379–390.
3. Орлова И. А. Оценка параметров атмосферы в циклонах и антициклонах и их влияния на полет самолета // Научные исследования студентов Саратовского государственного университета : материалы итоговой студ. науч. конф. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2010. С. 25–27.
4. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации / под ред. К. Г. Абрамович, А. А. Васильева. Л. : Гидрометеиздат, 1985. С. 203–210.
5. Метеорологические условия полетов воздушных судов в верхней тропосфере и нижней стратосфере над территорией СССР / под ред. Н. З. Пинуса. М. : Гидрометеиздат. Моск. отд-ние, 1982. С. 40–43.
6. Богаткин О. Г. Авиационная метеорология для летчиков. СПб. : Изд-во РГГМУ, 2008. 239 с.