

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ВОЕННАЯ КАФЕДРА

Экз. _____

УТВЕРЖДАЮ
Ректор РГГМУ

Только для преподавателей.

Л.Н.Карлин

«____» _____ 2006г.

МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА

по проведению лекции по учебной дисциплине

«АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ».

Экспериментальная программа 2006 года издания

**ТЕМА 6: «ВЛИЯНИЕ ВЕТРА И ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АВИАЦИИ»**

ЗАНЯТИЕ 1: «ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АВИАЦИИ»

РАЗРАБОТАЛ:
ПОЛКОВНИК

АКСЕЛЕВИЧ В.И.

Обсуждено на заседании кафедры.
Протокол № _____ от _____ 2006 г.

г.Санкт-Петербург
2006

Занятие 1 «ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АВИАЦИИ»

УЧЕБНЫЕ И ВОСПИТАТЕЛЬНЫЕ ЦЕЛИ:

1. Дать основные сведения о распределении ветра у земли и в свободной атмосфере, раскрыть его влияние на деятельность авиации.
2. Показать важность учета влияния ветра при производстве взлета, посадки и полета по маршруту.

ВРЕМЯ: 2 часа (90 минут).

МЕТОД: Лекция.

МЕСТО: аудитория

УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Баранов А.М., Солонин С.В. «Авиационная метеорология», Гидрометеиздат, 1992, стр.110-119, 121-124.
2. Учебное пособие «Синоптическая и авиационная метеорология», часть 2, Воениздат, 1985, стр. 72-86, 220-222.
3. Астапенко П.Д. и др. «Погода и полеты самолетов и вертолетов», Гидрометеиздат, 1988, стр. 55-62, 65-69.
4. Схемы:
 - 4.1. «Физические параметры атмосферы и метеоявления на больших высотах» (№3).
 - 4.2. «Условия погоды в области циклонов» (№4).
 - 4.3. «Условия погоды в области антициклонов» (№5).
 - 4.4. «Влияние параметров атмосферы на полет» (№12).
 - 4.5. «Влияние сдвига ветра на взлет и посадку» (№13).
 - 4.6. «Барические системы» (№34).
5. Слайды:
 - 5.1. Рис. 1.1. «Силы, действующие на воздушную частицу».
 - 5.2. Рис. 1.2. «Ветер в нижнем слое атмосферы».

- 5.3. Табл. 2.1. «Типы струйных течений».
- 5.4. Рис. 3.1. «Взлет с боковым ветром».
- 5.5. Табл.3.1. «Оценка сдвига ветра».
- 5.6. Рис. 4.1. «Элементы навигационного треугольника скоростей».
- 5.7. Табл. 4.1. «Максимальные значения углов сноса».
- 5.8. Табл. 4.2. «Максимальные погрешности в значениях эквивалентного ветра».
6. Проектор.

1. УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ И РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ.

№ п/п	Учебные вопросы	Время, мин.
1.	<u>Организационная часть занятия</u>	5
2.	<u>Учебные вопросы:</u>	
2.1.	<u>Режим ветра в атмосфере. Ветер в основных барических образованиях. Изменение ветра с высотой.</u>	10
2.2.	<u>Струйные течения и условия полетов в них. Рекомендации летному составу о наиболее эффективном использовании ветра в струйном течении.</u>	20
2.3.	<u>Влияние ветра на взлет и посадку летательных аппаратов. Понятие о сдвиге ветра.</u>	20
2.4.	<u>Влияние ветра на путевую скорость и направление полета (угол сноса).</u>	30
3.	<u>Заключительная часть занятия.</u>	5

2. ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ,

- 2.1. Занятие проводится в классе в составе взвода.
- 2.2. В организационной части занятия преподаватель проверяет наличие студентов, их внешний вид, делает замечания. Затем объяв-

ляет тему, название, цель занятия, доводит учебные вопросы, литературу, используемые для изучения учебного материала данного занятия.

2.3. Во введении преподаватель подчеркивает важность изучаемых вопросов, излагается кратко и должно подготовить обучаемых к усвоению основных учебных вопросов

2.4. При изложении первого учебного вопроса преподаватель использует схему № 3, 4, 5, 34 и слайды 5.1 (рис.1.1), 5.2. (рис. 1.2). Особое внимание необходимо сосредоточить на изменчивости характеристик ветра с высотой и в барических образованиях.

2.5. В ходе второго учебного вопроса преподаватель использует схему № 3 и слайд 5.3. (табл. 2.1) дает характеристики струйных течений по типам.

2.6. В ходе третьего учебного вопроса преподаватель рассматривает влияние ветра на взлет и посадку ЛА, дает понятие о сдвиге ветра и подчеркивает важность учета ветра. При этом используются схемы №№ 12, 13 и слайды 5.4 (рис. 3.1), 5.5(таблица 3.4), а также некоторые математические соотношения и выводы формул, с помощью которых оценивается влияние ветра на взлете и посадке.

2.7. При изложении четвертого учебного вопроса преподаватель с помощью рис. 4.1. (слайд или на доске) рассматривает основные элементы навигационного треугольника скоростей и их взаимосвязь, приводит примеры углов сноса при различных скоростях ветра (слайд 5.7, табл. 4.1). Затем дает понятие о эквивалентном ветре и доводит его применения в метеообеспечении полетов (слайд 5.8, табл. 4.2).

2.8. В заключительной части занятия преподаватель подводит итог занятию, делает общие выводы, отвечает на вопросы и дает задание на самоподготовку.

3. УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.

Введение.

На деятельность авиации существенное влияние оказывает ветер как в приземном слое, так и ветер на высотах. Приземный ветер влияет на взлет и посадку самолетов и вертолетов, а ветер на высотах – на их навигацию и боевое применение. Сильный ветер при взлете и посадке, кроме изменения взлетных и посадочных характеристик, может привести к летным происшествиям. Не учет или неправильный учет ветра при навигационных расчетах может привести к нарушению безопасности полетов или к невыполнению летного задания.

Для качественного метеорологического обеспечения полетов специалисты метеослужбы должны не только представить командованию и летному составу информационно-прогностические данные о ветре, но и хорошо знать, как влияет ветер на взлет и посадку летательных аппаратов, на угол сноса, путевую скорость, дальность полета и радиус действия самолета. Рассмотрению этих вопросов и посвящено настоящее занятие.

3.1. Режим ветра в атмосфере. Ветер в основных барических образованиях.

Ветер представляет собой горизонтальное движение воздуха относительно земной поверхности. Основными его характеристиками являются направление и скорость.

Направление ветра (α) выражается в градусах: метеорологическое направление указывает откуда дует ветер. Градусы отсчитываются от северного направления географического меридиана по часовой стрелке от 0° до 360° .

В воздушной навигации при расчетах используется навигационный ветер, направление которого определяется той частью горизонта, куда направлен воздушный поток.

Навигационное (α_n) и метеорологическое (α_m) направление ветра отличаются на $\pm 180^\circ$ и определяются формулой

$$\alpha_n = \alpha_m \pm 180^\circ \quad (1.1)$$

Скорость ветра измеряется (U) в м/с или км/ч (в некоторых странах в узлах: 1 узел $\approx 0,5$ м/с).

Параметры ветра измеряются в метеоподразделениях с помощью различных приборов: анемометров, анеморумбометров или анеморумбографов, флюгеров. Используются также шары-пилоты и радиозонды. Точность измерения с помощью приборов по направлению $\pm 10^\circ$, по скорости ± 1 м/с.

Каковы причины возникновения ветра?

Частицы воздуха могут двигаться лишь в случае, когда на них действуют какие-либо силы. Таковыми являются взаимодействия следующих сил (рис.1.1).

1. Сила барического градиента (F_k), возникает в результате неравномерного распределения давления вдоль земной поверхности, направлена перпендикулярно к изобарам в сторону низкого давления.

2. Отклоняющая сила вращения Земли (Сила Кориолиса F_k), она не изменяет скорость ветра, но отклоняет направление его движения, действует под прямым углом к направлению движения: вправо – в северном полушарии, влево – в южном.

3. Сила трения (F_T), возникает вследствие трения воздуха о подстилающую поверхность и повышенной турбулентности потока воздуха, направлена против направления ветра.

4. Центробежная сила ($F_{ц}$), возникает в случае криволинейного движения, направлена по радиусу кривизны траектории от центра наружу. Она учитывается только в тропических циклонах.

Рис. 1.1. Силы, действующие на воздушную частицу А.

Сила барического градиента действует, если имеется разница в давлении на местности, а в случае, когда частица воздуха начинает двигаться, начинают действовать сила Кориолиса, сила трения и центробежная сила. Поскольку центробежная сила сравнительно не велика, ею часто пренебрегают. Тогда в пограничном слое (до 1000 м) будет определяться взаимодействием только трех сил F_p , F_t и F_k , и в случае прямолинейного установившегося движения иметь направление, составляющее с изобарой некоторый угол β (рис.1.2).

Рис. 1.2. Ветер в нижнем слое атмосферы.

У земной поверхности $\beta = 30 - 40^\circ$ над сушей и $\beta = 20 - 30^\circ$ над морем, а с высотой уменьшается вследствие уменьшения силы трения.

В свободной атмосфере (выше 1000 м) сила трения практически отсутствует и перемещение воздуха определяется взаимодействием двух сил F_p и F_k . Ветер, возникающий при этом называется **градиентным**. Он направлен вдоль изобар, причем низкое давление остается слева.

Обычно в умеренных широтах ветер у поверхности земли вследствие трения составляет: над сушей 40 – 45% скорости градиентного ветра, над морем 65 – 70%.

С высотой ветер (его скорость и направление) изменяется в зависимости от действия силы трения и изменения давления. Многолетние исследования позволяют определить изменчивость ветра с высотой от сезона к сезону. (рис. 1.3).

Рис. 1.3. Общая характеристика ветра над северным полушарием (45 – 60 ° с.ш.).

Воздействие вышеперечисленных сил обуславливает воздушные течения в циклонах и антициклонах (рис.1.4):

- в циклонах ветер направлен против часовой стрелки внутрь;
- в антициклонах – по часовой стрелке внутри (в северном полушарии).

По мере подъема сила трения ослабевает, в связи с чем скорость ветра увеличивается, а направление ветра совпадает с направлением изогипс.

у земли

на высоте

Рис. 1.4. Ветер в циклоне и антициклоне у земли и на высотах.

На высотах часто отмечают области значительного увеличения скорости ветра. Рассмотрим их подробнее.

3.2. Струйные течения и условия полетов в них.

История исследования струйных течений сравнительно непродолжительна и связана с развитием способов и методов исследования верхних слоев тропосферы и стратосферы. Регулярность радиозондирования атмосферы, полеты ЛА и космической техники позволили (в послевоенное время особенно) выявить в атмосфере перенос воздуха в виде сравнительно узких течений с большими скоростями (свыше 30 м/с). Такие узкие зоны называют струйные

течения (СТ) как правило в областях значительных градиентов давления и температуры, воздуха, характерных для высотных фронтальных зон. Вертикальный разрез СТ представлен на рис. 2.1.

Рис. 2.1. Вертикальный разрез СТ.

Струйные течения подразделяются на внетропические, субтропические и экваториальные. Их характеристики представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

<div> <div>Параметры</div> <div>СТ</div> <div>Тип СТ</div> </div>	Географ. Широта	Высота ОСТ, км	Размеры свечения, км		Горизонтальная протяженность, км	Скорость ветра, км/ч	
			По высоте	По ширине		Средняя	Максимальн.
1	2	3	4	5	6	7	8
Тропосферное умеренных и вы- соких широт	50-80	7-10	3-6	500-600	Несколько ты- сяч	100-150	над Росси- ей до 450 (Азия)
Тропосферное субтропических высот	20-40	12-14	4-10	1500- 2000	Десятки тысяч, зимой опоясывают землю	До 450	До 750
Стратосферное западное (аркти- ческое)	70-80	20-25			Десятки тысяч, зимой опоясывают землю	100-150	300
Стратосферное восточное (эква- ториальное)	0-20	25			Десятки тысяч, зимой опоясывают землю	100-150	200

Особенности метеорологических условий в зонах СТ обусловлены тем, что для них характерны большие скорости ветра, значительная турбулентность. Зоны максимальной интенсивности турбулентности связаны с максимальными скоростями ветра. Эти зоны имеют очаговый характер, а на вертикальном разрезе СТ можно выделить зоны наиболее интенсивной турбулентности (рис.2.1). Важное значение приобретает учет СТ в том случае, если направление ветра в нем не совпадает с направлением полета, а также когда необходимо на маршруте пересекать СТ. В первом случае полета в СТ следует избежать, а во втором – входить в область СТ целесообразно под меньшим углом.

В последнее десятилетие узкие течения воздуха с большими скоростями отмечаются на высотах от 200 до 1000 м. Их называют **мезоструями**. Они обнаруживаются на картах погоды АТ₉₂₅ и имеют характеристики, подобные СТ, но меньше по величине, например, скорости ветра (80-100 км/ч), протяженности до сотен километров, вертикальной мощности - до сотен метров, ширине – до десятков километров. Ширина СТ составляет несколько сотен километров, а горизонтальная протяженность – несколько тысяч километров. Максималь-

ные скорости наблюдаются на оси СТ и достигают 100 м/с и более. Вертикальные градиенты скорости ветра в СТ составляют 5-10 м/с на 1 км, а горизонтальные 10 м/с и более на 100 км.

Такие скорости ветра на оси СТ оказывают существенное влияние на полет ЛА: с одной стороны полезное – использование попутного ветра, с другой стороны очень опасное для авиации: сильная турбулентность, снос ЛА и т.п. Наблюдались курьезные случаи, один из них приведен в книге В.А.Шталя «Проблемы авиационной метеорологии» (1966 г.) В 1920 г. летчик Шредер, поднявшийся над Даймоном в штате Огайо до высоты 10 км и левевший на Запад, приземлился восточнее места вылета. Скорость ветра превысила воздушную скорость самолета и путевая скорость самолета оказалась отрицательной.

Учет мезоструй важен потому, что наблюдаются они на высотах, где осуществляется снижение или набор высоты, заход на посадку летательных аппаратов. Эти этапы полета отличаются особенностями пилотирования и неучет изменения ветра (особенно резкого изменения) может привести к непосредственным отклонениям от режима полета. Рассмотрим влияние ветра на разных этапах полета ЛА.

3.3. Влияние ветра на взлет и посадку летательных аппаратов. Понятие о сдвиге ветра.

Взлет и посадка летательного аппарата являются исключительно важными и ответственными этапами полета. Ранее было отмечено, что каждый самолет имеет взлетные и посадочные характеристики, к которым относятся длина разбега, скорость отрыва при взлете, посадочная скорость и длина пробега при посадке. Эти характеристики зависят от метеорологических условий на данном аэродроме.

Введем следующие обозначения:

1. $\alpha_{\text{разб}}$ – длина разбега ЛА;

2. $V_{отр.}$ – скорость отрыва ЛА;
3. $t_{отр.}$ – время разбега;
4. $\alpha_{проб.}$ – длина пробега ЛА;
5. $V_{пос.}$ – скорость посадочная;
6. $t_{проб.}$ – время пробега;
7. $\gamma_{ср.}$ – среднее ускорение (на взлете или посадке).

Рассмотрим взаимосвязь данных характеристик на взлете.

При штиле ее можно представить в виде известных из кинематики (тема 4 зан.4) соотношений:

$$V_{отр. 0} = V_0 + \gamma_{ср.} t_{разб.0} \quad (3.1)$$

$$\alpha_{разб. 0} = V_0 t_{разб.0} + \frac{g_{ср.} t_{разб.0}^2}{2} \quad (3.2)$$

или с учетом, что $V_0 = 0$:

$$V_{отр.0} = \gamma_{ср.} t_{разб.0} \quad (3.3)$$

$$\alpha_{разб.0} = \frac{g_{ср.} t_{разб.0}^2}{2} = \frac{V_{отр.0}^2}{2g_{ср.}} \quad (3.4)$$

При наличии ветра со скоростью u , направленного вдоль ВПП, соотношения (3.3) и (3.4) примут вид:

$$V_{отр.} = \gamma_{ср.} t_{разб.0} \pm u \quad (3.5)$$

$$\alpha_{разб.} = \frac{(n_{отр.0} \pm U)^2}{2g_{ср.}} \quad (3.6)$$

Сравнив соответствующие характеристики при наличии ветра и при штиле можно получить выражение, применяемое для учета влияния ветра на длину разбега ЛА при взлете:

$$\frac{a_{разб.}}{a_{разб.0}} = \frac{(n_{отр.0} \pm u)^2}{n_{отр.0}^2} = \left(1 \pm \frac{u}{V_{отр.0}}\right)^2 \quad (3.7)$$

Из (3.7) видно, что попутный ветер (знак +) увеличивает, а встречный (знак -) уменьшает длину разбега ЛА. Аналогичные выводы можно сделать относительно скорости отрыва и посадки.

Допустим, что скорость отрыва самолета составляет 240 км/ч, а скорость ветра – 30 км/ч (8 м/с). Тогда при встречном ветре:

$$\frac{a_{разб}}{a_{разб.0}} = \left(1 - \frac{30}{240}\right)^2 = 0,77 ,$$

а при попутном ветре:

$$\frac{a_{разб}}{a_{разб.0}} = \left(1 + \frac{30}{240}\right)^2 = 1,26$$

Следовательно, при принятых условиях длина разбега при встречном ветре уменьшается на 23% , а при попутном ветре увеличивается на 26%.

Аналогично рассуждения можно выполнить относительно длины пробега и посадочной скорости, тогда получим:

$$\frac{a_{разб}}{a_{разб.0}} = \left(1 \pm \frac{u}{n_{пос.0}}\right)^2 , \quad (3.8)$$

Если для современных самолетов посадочная скорость составляет около 180 км/ч, а длина пробега при штиле 880 м, тогда при ветре 10 м/с встречного направления длина пробега составит 560 м, а при ветре попутного направления 1260 м, т.е. увеличится более, чем в 2 раза. Это обстоятельство важно учитывать в ходе проведения и обеспечения полетов: как правило полеты с попутным ветром запрещаются. Скорость ветра существенно сказывается для посадки космических аппаратов (КА). Установлено, что из нежелательных условий при посадке КА с космонавтами на борту является сильный ветер, имеющий скорость 15 м/с и более. При этом приземление происходит по более пологой траектории, что снижает эффективность двигателей мягкой посадки. В таких случаях приземление может произойти не на днище, а на бок, что небезопасно для экипажа.

Значительно осложняется взлет и посадка при боковом ветре, когда управление самолетом затруднено возникновением дополнительных аэродинамических сил (рис. 3.1.).

Кренящий момент

Разворачивающий
момент

Рис. 3.1. Взлет (посадка) с боковым ветром.

Под действием дополнительных аэродинамических сил возникают кренящий и разворачивающий моменты, сильно усложняющие пилотирование ЛА.

Поэтому инструкцией для каждого типа ЛА устанавливается предельно допустимая скорость бокового ветра (боковая составляющая), при которой возможен взлет и посадка. Зависит она от особенностей конструкции и веса ЛА, состояния поверхности ВПП и т.п. Для современных самолетов боковая составляющая составляет от 6 до 15 м/с, и оценивается с помощью формулы

$$U_{\delta} = U \cdot \sin \alpha \quad (3.9),$$

где U_{δ} – боковая составляющая;

α - угол между направлением ветра и направлением ВПП, а также составленным по этим спискам графикам, таблицам или планшета.

Ограничения полетов по ветру важно учитывать в ходе метеобеспечения полетов, причем в совокупности с влиянием других метеоусловий (выпадение осадков, низкая облачность высокие температуры воздуха и т.п.).

Особое внимание на взлете и посадке уделяется не только скорости и направлению ветра, но их изменениям в пространстве. *Резкие изменения направления или скорости ветра в двух точках пространства, отнесенные к расстоянию между этими точками называют сдвигом ветра.*

Величина сдвига ветра – векторная. Различают горизонтальные, вертикальные и боковые сдвиги ветра. По интенсивности сдвиг ветра оценивается по таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Таблица оценки сдвига ветра.

Интенсивность	Сдвиг ветра, м/с на 30 м
Слабый	0 – 2
Умеренный	2 – 4
Сильный	4 – 6
Очень сильный	Более 6

Для авиации сдвиг ветра более 4 м/с на 30 м считается опасным.

Сдвиг ветра как правило возникает вблизи и под кучево-дождевыми облаками, в зоне атмосферных фронтов, при наличии инверсии у поверхности Земли, а также в горной местности и в прибрежных районах.

Влияние ветра на полеты рассмотрим на примере влияния вертикального сдвига (3.2)

Рис. 3.2. Влияние вертикального сдвига ветра.

Усиление встречного (ослабленного попутного) ветра с высотой приводит:

- на посадке – к уменьшению приборной скорости, подъемной силы и потере высоты, что может привести к преждевременному касанию земли до ВПП;

- на взлете – к росту подъемной силы и тенденции к кабрированию, что при сильном сдвиге может привести к сваливанию ЛА.

Ослабление встречного ветра (усиление попутного) с высотой приводит:

- на посадке – к увеличению подъемной силы и снижению глиссады, что может привести к посадке с перелетом;
- на взлете – к уменьшению подъемной силы и потере высоты, что может привести к опасности столкновения с препятствиями на земле.

Пример влияния сдвига ветра на посадке: на аэродроме Бахрейн 1 июля 1979 года заходил на посадку «Боинг-747». На высоте 750-180 м происходило заметное ослабление составляющей встречного ветра с одновременной вертикальной изменчивостью ветра (сдвиг ветра). Наблюдались броски самолета: сначала вверх, а затем очень сильный вниз на 180 м ниже глиссады. Самолет терял высоту со скоростью 20 м/с, только на высоте 170 м нисходящие потоки уменьшились и посадка была совершена удачно.

Выше отмеченное влияние ветра на взлет и посадку требует от метеоспециалистов своевременной и точной информации о фактическом и ожидаемом направлении и скорости ветра у земли и на высотах. В случае, когда такая информация будет неточна или несвоевременно выдана на борт самолета, то экипаж может от первого захода не совершить посадку на летном аэродроме. Повторный заход на посадку потребует дополнительного расхода топлива, а это для современных типов самолетов составляет: Ту-154 – 6 т; Ил-86 – 10,3 т; Ил-62 – 8 т; Як-42 – 1,8 т; Ту -134 – 3,2 т. Это еще раз свидетельствует о важности учета ветра на посадке ЛА.

Особое значение имеет ветер при проведении полета по маршруту.

3.4. Влияние ветра на путевую скорость и направление полета (угол сноса).

В неподвижном воздухе направление движения самолета относительно земной поверхности совпадает с направлением его продольной оси, а ско-

рость перемещения равна воздушной скорости (скорости относительно воздуха).

Ветер, представляющий горизонтальное движение воздушной массы относительно земли, обуславливает снос самолета вместе с этой воздушной массой. Скорость полного движения самолета представляет собой геометрическую сумму двух векторов: вектора воздушной скорости и вектора ветра. Построенный на этих векторах треугольник получил название **навигационного треугольника скоростей** (рис. 4.1).

Рис. 4.1. Элементы навигационного треугольника скоростей.

Элементами навигационного треугольника скоростей являются:

V - воздушная скорость;

α - курс;

W – путевая скорость;

γ - путевой угол;

U – скорость ветра;

δ_n – штурманское направление ветра;

δ_m – метеорологическое направление ветра;

φ – угол сноса;

ε – угол ветра.

Элементы навигационного треугольника в общем случае не являются величинами постоянными. Вектор ветра претерпевает пространственную и временную изменчивость. Вектор воздушной скорости даже при самом тщательном выдерживании скорости по прибору и курса также не постоянен по причине пространственной изменчивости полей метеорологических элементов и, главным образом, турбулентного состояния атмосферы.

Однако, макротурбулентность, вызывающая болтанку и затрудняющая пилотирование и навигационные изменения в полете, незначительно влияет на траекторию движения самолета. Поэтому в практике самолетовождения можно пренебречь этими частыми и малыми колебаниями навигационных элементов, понимая под α , φ и w их средние значения (по крайней мере, на расстоянии нескольких километров или десятков километров).

Может возникнуть мнение, что в связи с успехами в развитии авиационной техники и созданием самолетов с турбовинтовыми и турбореактивными двигателями, имеющих большие крейсерские скорости, значение учета ветра в полете уменьшилось. Однако такой вывод был бы ошибочен. Необходимо учитывать особенности режима полета реактивных самолетов. Полеты реактивных самолетов происходят на высотах, характеризующихся большими значениями скоростей ветра, особенно в зонах струйных течений.

Несмотря на большие скорости полета современных самолетов, величина отношений скорости ветра и воздушной скорости самолета $\frac{U}{V}$ в остальных случаях может принимать значения 0,2 - 0,5 и более. Поэтому изменения путевой скорости и угла сноса самолета могут достигать больших значений.

Для дозвуковых военных самолетов при полете в зоне струйных течений максимальные значения углов сноса (при $\epsilon = 90^\circ$) могут достигать 20 - 30° (табл.4.1).

Максимальные значения углов сноса на крейсерском режиме

Таблица 4.1

Тип самолета	Скорость ветра, км/ч					
	60	100	150	200	250	300
Военно-транспортные с ТВД	5,5	9,5	14,5	19,5	24,5	30,0
Бомбардировщики ракетоносцы (дозвуковые)	4,0	7,0	11,0	14,5	18,0	22,0

Влияние ветра на путевую скорость, то есть на скорость движения самолета относительно земли, и на величину угла сноса зависит от скорости и направления ветра и оценивается с помощью взаимосвязи между элементами навигационного треугольника.

Взаимосвязь и взаимообусловленность элементов навигационного треугольника можно представить следующими формулами и соотношениями:

1. Вектор путевой скорости (w) равен сумме векторов воздушной скорости (v) и скорости ветра (u)

$$\vec{w} = \vec{v} + \vec{u} \quad (4.1)$$

2. Угол ветра ϵ определяется по путевому углу γ и направлению ветра δ_m :

$$\epsilon = \delta_m - \gamma \pm 180^\circ \quad (4.2)$$

3. Рассмотрев в навигационном треугольнике два треугольника АОВ и ОВС можно получить соотношение, обуславливающее связь угла сноса φ и угла вектора ϵ :

$$\sin j = \frac{u}{v} \sin \epsilon \quad (4.3)$$

Следовательно, величина угла сноса прямо пропорциональна отношению скорости ветра к скорости самолета и синусу угла ветра.

При $\epsilon = 0$ или 180° , что соответствует попутному или встречному ветру, угол сноса равен нулю ($\varphi = 0$). При $\epsilon = 90^\circ$ (боковой ветер) угол сноса максимальный.

Анализ формулы показывает, что учет ветра не теряет своей актуальности и при полете со скоростями, значительно превышающими скорость звука. Так, если предположить, что полет выполняется с воздушной скоростью 2500 км/ч, то максимальные углы сноса в струйном течении составят от 3° до $7 - 8^\circ$ и более. Учитывая, что путевая скорость (W) в навигационном треугольнике ABC равна сумме отрезков АО и ОС и представив их тригонометрическими суммами получим, что величина путевой скорости связана со скоростью и направлением ветра в соотношении

$$W = V \cos \varphi + u \cos \epsilon \quad (4.4)$$

Учитывая выводы, полученные из формулы (4.3), можно подчеркнуть, что наибольшее влияние ветра на величину путевой скорости при всех прочих условиях будет при попутном ветре ($\epsilon = 0$) и при встречном ветре ($\epsilon = 180^\circ$), когда угол сноса равен 0. При попутном ветре путевая скорость увеличивается на величину скорости ветра, а при встречном, наоборот, уменьшается на эту же величину.

Влияние ветра на путевую скорость при ветре, направленном вдоль линии пути самолета, не зависит от воздушной скорости самолета. При боковом ветре величина, на которую изменяется путевая скорость под влиянием ветра, зависит от воздушной скорости. Однако, во всех случаях, если на высоте полета наблюдался, например, ветер 120 км/ч, то независимо от воздушной ско-

рости самолет снесен ветром за 1 час на 120 км/ч и т.д. Поэтому знание ветра в полете и его учет представляют необходимое условие выполнения заданного маршрута и вывода самолета на цель.

Одной из задач самолетовождения, включающего в себя комплекс действий экипажа по определению места нахождения самолета в воздухе и направления его к цели полета, является задача определения и учета ветра. Знание ветра в полете необходимо для дальнейшего расчета полета или ввода вектора ветра в автоматические навигационные устройства и счетно-решающие приборы.

Ветер в полете может быть определен несколькими способами: по путевой скорости и углу сноса, измеренным на одном курсе, по двум (трем) углам сноса на двух (трех) разных курсах; по двум путевым скоростям на двух разных курсах; расчет ветра в полете производится с помощью ветрочета Журавченко.

В последние годы разрабатываются принципиально новые системы определения навигационных элементов, основанные на использовании эффекта Доплера (радиотехнические средства), интегрировании ускорений, возникающих под влиянием переменных ветров (инерциальные системы) и специальных вычислительных устройств, сочлененных с автоматическими фотоэлектрическими устройствами, обеспечивающими непрерывное пеленгование небесных светил.

Сущность всех способов определения ветра в полете сводится к непосредственному определению вектора скорости, а поскольку вектор воздушной скорости всегда известен экипажу (величина воздушной скорости определяется с помощью указателя воздушной скорости, курс самолета – с помощью различных курсоуказателей), то вектор ветра однозначно определяется как замыкающий вектор.

Путевой угол и величину путевой скорости находят путем визуальных, радиотехнических и других способов определения координат самолета и направления его движения относительно земли.

Для учета влияния ветра на величину путевой скорости введено понятие «эквивалентный ветер».

Под эквивалентным ветром понимают некоторый всегда направленный вдоль маршрута расчетный ветер, который оказывает такое же влияние на значение путевой скорости, как и фактический ветер. Использование понятия «эквивалентного ветра» позволяет применить статистический подход в решении задач, связанных с необходимым для полета запасом топлива, при оценке времени прибытия ЛА в конечный пункт, при составлении расписания передач и т.п.

В соответствии с определением значения (мгновенное) эквивалентного ветра в некоторой точке маршрута равно:

$$U_э = |W| - |V| \quad (4.5)$$

Между действительным ветром, наблюдаемым в определенный момент времени в некоторой точке маршрута и эквивалентным ветром существует связь, вытекающая из анализа навигационного треугольника скоростей (рис.4.1). Эквивалентный ветер является скалярной величиной. Положительное значение $U_э$ соответствует попутному реальному ветру, а отрицательное – встречному. В летной практике для расчета эквивалентного ветра используют приближенную формулу следующего вида:

$$U_э = U \cos \mathcal{E} - \frac{U^2}{2V} \sin \mathcal{E} \quad (4.6)$$

Важное значение эквивалентного ветра имеет значение допустимых изменений воздушной скорости, скорости ветра и угла ветра. Принимая $\mathcal{E} = 90^\circ$ (что соответствует максимальным погрешностям) и $V = 800$ км/ч, были вычислены погрешности в величине эквивалентного ветра, допуская, что воздушная скорость колеблется в пределах 800 ± 100 , 800 ± 200 км/ч (таблица 4.2).

Максимальные погрешности ($\epsilon = 90^\circ$) в значении
эквивалентного ветра за счет неучета изменения
воздушной скорости (при $V = 800$ км/ч)

ΔV км/ч	Скорость ветра, км/ч					
	$50 \Delta U_3$	$\frac{\Delta U_3}{V}, \%$	$100 \Delta U_3$	$\frac{\Delta U_3}{V}, \%$	$200 \Delta U_3$	$\frac{\Delta U_3}{V}, \%$
100	0,2	0,02	0,7	0,09	2,8	0,35
	- 0,2	0,02	0,9	0,11	- 3,6	0,45
200	0,31	0,04	1,2	0,16	5,0	0,62
	- 0,52	0,07	- 2,1	0,25	- 8,3	1,04

Из табл. 4.2 видно, что эквивалентный ветер, рассчитанный для воздушной скорости 800 км/ч при скорости ветра 200 км/ч при изменении воздушной скорости изменяется незначительно.

Если воздушная скорость изменяется на 100 км/ч, то максимальная погрешность не превышает $\pm 0,5\%$. Даже при изменении воздушной скорости на 200 км/ч максимальная погрешность составляет около $\pm 1\%$ от величины воздушной скорости.

Последнее означает, что одно и то же значение эквивалентного ветра справедливо для достаточно широкого диапазона воздушных скоростей. Так, например, если при определении эквивалентного ветра принять $V = 700$ км/ч, то полученное значение эквивалентного ветра будет иметь практически достаточную точность для крейсерских режимов большинства дозвуковых реактивных самолетов.

Приведенные выше рассуждения относятся к определению эквивалентного ветра в некоторый момент времени для конкретной точки маршрута. Од-

нако, для целей самолетовождения важно знать эквивалентный ветер не в отдельных пунктах, а по всему маршруту.

Эквивалентный ветер по маршруту

$$U_{\text{ЭМ}} = \sum_{i=1}^n U_{\text{Э}i} q_i \quad (4.7)$$

Где: q_i - веса отдельных участков маршрута.

Приближенно:

$$q_i \approx \frac{S_i}{S} \quad (4.8)$$

где: S_i - длина отдельного участка;

S – общая протяженность маршрута.

Таким образом, введение понятия эквивалентного ветра позволяет с небольшой ошибкой заранее, привлекая для расчетов кинематических данных о ветре на интересующих высотах и различные варианты заданного ветра получить таблицы и графики. С их помощью определить расход топлива, продолжительность полета, время прибытия в конечный пункт маршрута, рассчитать скорость полета по маршруту и т.п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В метеорологическом обеспечении очень важно учитывать сведения о ветре. Неучет ветровых данных может существенно повлиять на выполнение задач, а в отдельных случаях исключить их выполнение. Данное занятие позволяет понять важность учета направления и скорости ветра при обеспечении авиации на различных высотах и этапах полета.

4. ЗАДАНИЕ НА САМОПОДГОТОВКУ.

4.1. Синоптическая и авиационная метеорология, часть II, М., Воениздат, 1985, с 77-86, 220-222.

РАЗРАБОТАЛ:

начальник военной кафедры РГГМУ

полковник

В. Акселевич