

Doc 9817
AN/449



Руководство по сдвигу ветра на малых высотах

Утверждено Генеральным секретарем
и опубликовано с его санкции

Издание первое — 2005

Международная организация гражданской авиации

Doc 9817
AN/449



Руководство по сдвигу ветра на малых высотах

Утверждено Генеральным секретарем
и опубликовано с его санкции

Издание первое — 2005

Международная организация гражданской авиации

ПРЕДИСЛОВИЕ

С 1943 г. в качестве причины ряда авиационных происшествий/инцидентов, в результате которых во всем мире в общей сложности погибло более 1400 человек, приводился сдвиг ветра на малых высотах. Возросшая осведомленность среди авиационных кругов в отношении опасного и коварного характера явления сдвига ветра на малых высотах нашло отражение в том факте, что это явление рассматривается Советом ИКАО в качестве одной из главных технических проблем, стоящих перед авиацией.

До 1980-х годов нехватка отвечающего эксплуатационным требованиям оборудования дистанционного зондирования, сложность вопроса, широкомасштабность явления сдвига ветра с присущей ему непредсказуемостью – все это в совокупности препятствовало полному решению данной проблемы, которая, в свою очередь, сдерживала процесс разработки необходимых международных стандартов и рекомендаций в отношении наблюдения за сдвигом ветра и сообщения о нем, а также в отношении его прогнозирования.

В 1975 г. из-за сдвига ветра имели место пять происшествий/инцидентов с реактивными транспортными воздушными судами, причем одно из них привело к многочисленным жертвам.¹ Это авиационное происшествие, случившееся в международном аэропорту имени Джона Кеннеди (Нью-Йорк) 24 июня 1975 г., а также авиационное происшествие в Денвере (штат Колорадо, Соединенные Штаты Америки) 7 августа 1975 г., которое, к счастью, обошлось без жертв и произошло в районе, где имелась возможность всесторонне контролировать поле ветра, явились поворотным пунктом в истории изучения проблемы сдвига ветра. Подробный и исчерпывающий анализ той роли, которую сыграл в указанных происшествиях сдвиг ветра, устранил последние сомнения в отношении реальной опасности сдвига ветра. Последовавшие за этим ускоренные исследования, кульминацией которых явилось осуществление в 1982 г. в аэропорту Степлтон (Денвер, штат Колорадо, Соединенные Штаты Америки) широкомасштабного "Совместного проекта исследований погоды в аэропортах" (JAWS), значительно углубили наше понимание проблемы, особенно в отношении сдвига ветра, связанного с грозовой деятельностью.

На Восьмой Аэронавигационной конференции (Монреаль, 1974 г.)² была принята рекомендация о подготовке и публикации инструктивного материала, который позволил бы всем заинтересованным сторонам в максимальной степени использовать имеющуюся информацию о сдвиге ветра. Для оказания помощи при подготовке такого инструктивного материала была учреждена Исследовательская группа по сдвигу ветра и турбулентности на малых высотах (WISTSG). При содействии этой Группы был разработан перечень эксплуатационных требований в отношении наблюдения за сдвигом ветра и турбулентностью. Такой материал вместе с предварительным перечнем рекомендуемых терминов и пояснениями к ним, а также докладом о ходе работы по сдвигу ветра, в основу которого легли главным образом выпущенные некоторыми государствами циркуляры, был разослан государствам вместе с письмом AN 10/4.6-79/142 от 31 августа 1979 г.

После проведения интенсивных исследований была разработана поправка 64 к Приложению 3 *"Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации"*, которая начала применяться в ноябре 1983 г. и включает новые и пересмотренные действующие положения в отношении наблюдения за сдвигом ветра на малых высотах и сообщения о нем. Одновременно были несколько видоизменены эксплуатационные требования (см. добавление 1).

В 1982 г. на совместном заседании подкомиссий по вопросам расследования и надзора и по вопросам транспорта, авиации и материалов Комиссии по науке и технике Палаты представителей Конгресса Соединенных Штатов Америки состоялись слушания по вопросу о влиянии метеорологических проблем на авиацию, включая сдвиг ветра. После этих слушаний Федеральное авиационное управление (ФАУ) заключило с Национальной академией наук контракт на "изучение имеющейся информации, альтернативных подходов и последствий оповещения о сдвиге ветра и неблагоприятных погодных условиях применительно к выдаче разрешений на взлет и посадку для коммерческих воздушных судов и воздушных судов авиации общего назначения". Для выполнения этой задачи был образован Специальный комитет по исследованию сдвига ветра на малых высотах^а и его опасности для авиации. Комитет подготовил весьма содержательный доклад и сделал ряд выводов и рекомендаций¹ (см. добавление 2).

С 1967 г. в рамках ФАУ осуществляется детальная программа действий, направленных на уменьшение опасности сдвига ветра на малых высотах. Согласно этой программе проведены мероприятия в соответствии с рекомендациями вышеупомянутого Комитета, а также с рекомендациями, периодически поступающими от Национального комитета по безопасности перевозок (NTSB) в результате расследований авиационных происшествий. В этом отношении ФАУ разработало "Комплексную программу по сдвигу ветра", которая предусматривала тесное взаимодействие с рядом правительственных учреждений (например, с Национальным управлением по авионавигации и исследованию космического пространства (НАСА), авиационно-космической промышленностью, ассоциациями пилотов и ИКАО) и включала подготовку учебного пособия по сдвигу ветра, опубликованного в феврале 1987 г. Целью программы являлись дальнейшая разработка и совершенствование в ближайшие пять-десять лет методик обучения/подготовки и эксплуатационных правил, технических средств обнаружения сдвига ветра с земли и в полете и бортовых пилотажных систем. Параллельно этому должна была проводиться дальнейшая работа по выяснению опасности сдвига ветра на основе продолжающихся научных исследований. В 1987 г. ИКАО при содействии Исследовательской группы WISTSG опубликовала циркуляр 186 по сдвигу ветра, явившийся предвестником настоящего руководства.

На момент издания циркуляра "Сдвиг ветра" (Cir 186) в 1987 г. в его предисловии указывалось, что "основной объем имеющейся информации о сдвиге ветра, особенно в отношении связанных с этим явлением эксплуатационных аспектов, еще недостаточно обработан для того, чтобы его можно было перевести на язык регламентирующих положений". Последующие поправки к соответствующим Приложениям и Правилам авионавигационного обслуживания (PANS), принятые с целью учета требований о предоставлении пилотам информации о сдвиге ветра, и тот факт, что первоначальный циркуляр заменен на настоящее руководство, свидетельствуют о более высоком уровне зрелости данного предмета.

Достигнутому за последние 20 лет прогрессу способствовали две основные тенденции. Период с 1987 г. был отмечен успехами в разработке как наземного, так и бортового оборудования, предназначенного для обнаружения сдвига ветра и предупреждения о нем. В частности, был достигнут большой прогресс в разработке доплеровских РЛС и доплеровской технологии обработки сигналов, что привело к появлению высокоэффективных наземных систем, специально предназначенных для обнаружения сдвига ветра/предупреждения о сдвиге ветра. Аналогичные достижения также позволили создать системы переднего обзора для обнаружения сдвига ветра/предупреждения о сдвиге ветра, отвечающие эксплуатационным требованиям к бортовому оборудованию. Однако на момент подготовки настоящего документа темпы развертывания таких систем рядом авиакомпаний были несколько меньшими, чем предполагалось. С учетом этих технических разработок были внесены надлежащие поправки в соответствующие нормативные документы ИКАО.

а. Приводимая в этом месте в английском издании настоящего руководства сноска касается только английского текста.

Наряду с разработкой оборудования для обнаружения сдвига ветра/предупреждения о сдвиге ветра был обеспечен более высокий уровень учебной подготовки эксплуатационного персонала по вопросам, связанным с серьезным воздействием, которое сдвиг ветра может оказывать на воздушные суда в полете. Особо важное значение имеет подготовка пилотов. Существуют отличные учебные пособия по сдвигу ветра, которые охватывают такие аспекты, как разъяснение феномена и распознавание сдвига ветра, а также методы уклонения от него при посадке и взлете. Кроме того, в них даются рекомендации по технике пилотирования, чтобы пилот мог восстановить нормальное положение при случайной встрече со сдвигом ветра. Сегодня любой курс подготовки пилотов на тренажере должен включать учебные модули по распознаванию сдвига ветра, уклонению от него и восстановлению нормального положения.

За последнее десятилетие число авиационных происшествий/инцидентов, в которых сдвиг ветра был отмечен в качестве способствующего фактора, заметно уменьшилось. Однако он всегда будет представлять собой серьезную опасность для авиации и потенциального убийцу, поэтому необходима постоянная бдительность и соответствующая учебная подготовка пилотов по аспектам сдвига ветра.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Страница</i>
Глава 1. Введение	1-1
Глава 2. Характеристики сдвига ветра на малых высотах	2-1
2.1 Ветер	2-1
2.2 Изменение ветра в пространстве	2-2
2.3 Расчет сдвига ветра	2-2
2.4 Единицы измерения сдвига ветра	2-4
2.5 Ограничения при практическом применении методов расчета сдвига ветра	2-7
Глава 3. Метеорологические условия и явления, вызывающие сдвиг ветра на малых высотах	3-1
3.1 Профиль ветра в нижних слоях атмосферы	3-1
3.2 Ветер, обтекающий препятствия	3-6
3.3 Поток воздуха, связанный с фронтальными поверхностями	3-10
3.4 Береговой/морской бриз	3-13
3.5 Грозы	3-14
3.6 Климатология конвективного сдвига ветра	3-33
3.7 Статистические данные о сдвиге ветра на малых высотах вблизи аэродромов	3-35
3.8 Спутные вихри	3-39
3.9 Аэродинамические потери при сильном дожде	3-42
Глава 4. Влияние сдвига ветра на малых высотах на летные характеристики воздушных судов	4-1
4.1 Общие положения	4-1
4.2 Летные характеристики воздушных судов в конкретных условиях сдвига ветра	4-9
4.3 Летные характеристики воздушных судов в условиях сдвига ветра и имеющиеся в распоряжении пилотов технические приемы распознавания сдвига ветра и выхода из создавшегося положения	4-21
Глава 5. Наблюдение, прогнозирование сдвига ветра на малых высотах и передача сообщений о нем	5-1
5.1 Наблюдение сдвига ветра с земли и в полете	5-1
5.2 Прогнозирование сдвига ветра	5-36
5.3 Передача сообщений о сдвиге ветра	5-56

Глава 6. Подготовка персонала.....	6-1
6.1 Общие положения.....	6-1
6.2 Цели подготовки летных экипажей.....	6-2
6.3 Наземная подготовка летных экипажей.....	6-2
6.4 Летная подготовка и подготовка на тренажере.....	6-3
6.5 Комплексная программа ФАУ по сдвигу ветра (подготовка персонала).....	6-5
6.6 Подготовка персонала службы управления воздушным движением.....	6-5
6.7 Подготовка метеорологов.....	6-6
6.8 Аспекты подготовки по вопросам передачи сообщений о сдвиге ветра.....	6-7
6.9 Резюме.....	6-7

Добавления

1. Перечень эксплуатационных требований.....	ДОБ 1-1
2. Рекомендации Комитета по исследованию сдвига ветра на малых высотах и его опасности для авиации Национальной академии наук Соединенных Штатов Америки (1983).....	ДОБ 2-1
3. Математический анализ влияния сдвига ветра на подъемную силу.....	ДОБ 3-1
4. Система оповещения о сдвиге ветра и турбулентности в Гонконге (Китай).....	ДОБ 4-1
5. УВЧ-определитель профиля ветра в аэропорту Ниццы (Лазурный Берег).....	ДОБ 5-1
6. Требования к оборудованию систем обнаружения сдвига ветра на малых высотах.....	ДОБ 6-1
7. Наборы данных для моделирования сдвига ветра.....	ДОБ 7-1
8. Правила прогнозирования.....	ДОБ 8-1
9. Наглядные пособия, имеющиеся в ИКАО.....	ДОБ 9-1
10. Дополнительные правила для самолета "Боинг-737". Неблагоприятные условия погоды и штатные маневры.....	ДОБ 10-1

Глоссарий терминов.....	Г-1
--------------------------------	------------

Библиография

Глава 1

ВВЕДЕНИЕ

1.1 Понятие сдвига ветра на малых высотах в самом широком смысле слова охватывает совокупность перемещений воздуха в нижних слоях атмосферы, от небольших завихрений и порывов, которые могут оказывать воздействие на воздушное судно в виде турбулентности, до мощного перемещения воздушной массы одного слоя относительно соседнего слоя. Широкий диапазон разнообразных явлений, создающих такие потоки воздуха, включает грозы, береговые и морские бризы, струйные течения на малых высотах, горные волны и фронтальные системы. Чтобы найти в данном контексте тот общий знаменатель, который связывает такие разнообразные явления, необходимо разъяснить значение термина “сдвиг ветра”. Наиболее общим определением сдвига ветра является следующее: “изменение скорости и/или направления ветра в пространстве, включая восходящие и нисходящие потоки воздуха”. Из такого разъяснения следует, что любое атмосферное явление или даже любое физическое препятствие на пути преобладающего воздушного потока, приводящее к изменению скорости и/или направления ветра, по существу, является причиной сдвига ветра.

1.2 Сдвиг ветра присутствует в атмосфере всегда, и это явление часто можно наблюдать. Примерами могут служить слои облачности на разных высотах, движущиеся в разных направлениях; шлейфы дыма, срезанные по высотам и движущиеся в разных направлениях; вращающиеся взвешенные частицы и/или капельки воды в относительно безобидных пылевых вихрях и чрезвычайно опасных водяных смерчах и торнадо; “стеноподобная” передняя кромка пылевых/песчаных бурь и деревьев, клонящиеся во всех направлениях под внезапными порывами фронта шквалов. Все эти видимые эффекты свидетельствуют о повсеместном присутствии в атмосфере сдвига ветра и явлений, которые его вызывают.

1.3 Важность сдвига ветра для авиации заключается в его воздействии на летные характеристики воздушных судов и, как следствие, в потенциально неблагоприятном влиянии на безопасность полетов. Хотя сдвиг ветра может присутствовать в атмосфере на всех высотах, его наличие на самом низком уровне – 500 м (1600 фут) – особенно важно для воздушных судов, производящих посадку и взлет. На этапах начального набора высоты и захода на посадку значения воздушной скорости и относительной высоты воздушного судна близки к критическим, и поэтому воздушное судно особенно восприимчиво к неблагоприятному воздействию сдвига ветра. Как станет ясно из последующих глав, реакция воздушного судна на сдвиг ветра является чрезвычайно сложной и зависит от множества факторов, включая тип воздушного судна, этап полета, масштаб воздействия сдвига ветра относительно размеров воздушного судна, интенсивность и длительность воздействия сдвига ветра на воздушное судно.

1.4 После привлечения внимания к преобладающему присутствию сдвига ветра в атмосфере и его потенциальной опасности для воздушных судов для рассмотрения данного вопроса в должной перспективе следует подчеркнуть, что, учитывая большое число посадок и взлетов воздушных судов во всем мире, лишь немногие воздушные суда сталкиваются с трудностями, приводящими к авиационному происшествию, и в отношении лишь незначительной доли таких происшествий сдвиг ветра является одним из факторов, способствовавших созданию аварийных условий. Тем не менее, тот факт, что сдвиг ветра в прошлом оказывал влияние на авиационные происшествия, может

служить достаточным основанием для того, чтобы все лица, связанные с производством полетов, представляли себе, какие тяжелые последствия может иметь воздействие сдвига ветра на летные характеристики воздушного судна, особенно на этапах посадки и взлета.

Глава 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ СДВИГА ВЕТРА НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ

2.1 ВЕТЕР

2.1.1 Простейшим определением ветра является “движение воздуха относительно земной поверхности”. Ветер свободно дует в трехмерном пространстве и, обладая скоростью и направлением, должен рассматриваться как вектор, который можно разложить на три ортогональные составляющие. Относительно земной поверхности это означает, что составляющие имеют направления: север-юг, восток-запад и вверх-вниз. Если же данный вектор берется относительно траектории полета воздушного судна, это означает использование следующих направлений составляющих: встречная/попутная (продольные) составляющие ветра, боковые (поперечные) справа/слева составляющие ветра и восходящая/нисходящая (вертикальные) составляющие (см. рис. 2-1).

2.1.2 За исключением особых случаев, вертикальная составляющая ветра в атмосфере обычно невелика в сравнении с одной или обеими горизонтальными составляющими. Это особенно наглядно проявляется вблизи земной поверхности, где ветер ограничен направлением в горизонтальной плоскости. Поскольку обычно преобладают горизонтальные составляющие, предполагается, что горизонтальный ветер дует параллельно поверхности земли, игнорируя, таким образом, вертикальную составляющую. Особые случаи, когда преобладает вертикальная составляющая, возникают при наличии конвективных облаков (особенно при грозах), горных волнах и восходящих потоках теплого воздуха. Первые два явления имеют самое непосредственное отношение к сдвигу ветра и подробно рассматриваются в главе 3.

2.1.3 Поскольку воздушное судно обычно приземляется и взлетает против ветра, выбрав ВПП с подходящим направлением, встречная/попутная или продольная составляющая ветра в подавляющем большинстве случаев преобладает над боковой или поперечной составляющей. Этим объясняется тот факт, что основной упор обычно делается на изменения встречной/попутной (продольной) составляющей ветра, за исключением уже упоминавшихся особых случаев, когда преобладает вертикальная составляющая (восходящий/нисходящий поток). Кроме того, при расчете сдвига ветра в аэропорту необходимо учитывать направление ВПП, что означает определение всех векторов сдвига относительно курсов ВПП и таким образом представление сдвигов в виде встречных/попутных составляющих. Многие системы обнаружения сдвига ветра (аэродромный доплеровский метеорологический радиолокатор (TDWR), комплексная аэродромная метеорологическая система (ITWS) и процессор метеорологической системы (WSP) не позволяют определить сдвиг ветра в фронте порывов по отношению к ориентации ВПП. Для этих систем значение сдвига ветра представляет собой усиление фронта порывов, которое может очень существенно отличаться от увеличения скорости воздуха, воздействующего на воздушное судно. К числу систем обнаружения сдвига ветра, позволяющих определить сдвиг ветра в фронте порывов по отношению к ориентации ВПП, относятся система оповещения о сдвиге ветра на малых высотах с расширенной сетью (LLWAS-NE) и система оповещения о сдвиге ветра на малых высотах с перебазированным и более надежным оборудованием (LLWAS-RS). Система LLWAS-NE размещается совместно с TDWR и/или ITWS; в результате объединения некоторые значения, характеризующие усиление сдвига ветра, выдаются с учетом ориентации ВПП, а некоторые – без ее учета.

2.2 ИЗМЕНЕНИЕ ВЕТРА В ПРОСТРАНСТВЕ

2.2.1 В приводимом в главе 1 разъяснении сдвига ветра изменения в скорости и/или направлении ветра, о которых идет речь, касаются изменений среднего (или преобладающего) ветра на пути от одной опорной точки в пространстве к другой. Кратковременные изменения ветра относительно среднего значения направления и/или скорости обычно называют "отклонениями" от преобладающего ветра. Такие отклонения ветра, по крайней мере взятые отдельно, носят кратковременный характер, наподобие завихрений; хотя завихрения, несомненно, связаны со сдвигом ветра, поскольку они по своему масштабу меньше воздушного судна, их воздействие на воздушное судно проявляется лишь в виде болтанки, или турбулентности. Таким образом, масштабы воздействия сдвига ветра относительно общих размеров конкретного воздушного судна играют принципиально важную роль.

2.2.2 Из вышеизложенного можно также заключить, что, в то время как любая турбулентность связана со сдвигом ветра, пусть даже в очень малых масштабах, тем не менее сдвиг ветра, особенно крупномасштабный, не обязательно включает турбулентность. Сдвиг ветра – это не просто одна из форм турбулентности при ясном небе; более того, сдвиг ветра такого масштаба, который воздействует на летные характеристики воздушного судна, не обязательно предполагает наличие турбулентности.¹

2.3 РАСЧЕТ СДВИГА ВЕТРА

2.3.1 Сдвиг ветра, представляющий собой изменение вектора ветра от одной точки пространства до другой, выражается разностью между векторами ветра в двух точках, которая сама является вектором (так как обладает как скоростью, так и направлением). Интенсивность сдвига рассчитывается путем деления величины разности между векторами в двух точках на расстояние между ними с использованием одних и тех же единиц измерения. Расчет сдвига может быть выполнен графически с использованием треугольника скоростей или путем вычитания составляющих двух векторов ветра вручную, при помощи ЭВМ или с помощью тригонометрических методов. Рассмотрим, например, ветер \vec{V}_1 ^a 240°/15 м/с (30 уз) в точке А на высоте 300 м (1000 фут) над уровнем земли (AGL), изменяющийся на \vec{V}_2 220°/5 м/с (10 уз) в точке В на высоте 150 м (500 фут) AGL. На рис. 2-2 а) и б) вектор сдвига ветра вычисляется графически путем вычитания двух векторов ветра ($\vec{V}_2 - \vec{V}_1$) или ($\vec{V}_1 - \vec{V}_2$); показано также его соотношение с "результатирующим" вектором ветра, который получается от сложения двух векторов ветра ($\vec{V}_1 + \vec{V}_2$). Результат может действовать только в одном направлении, потому что ($\vec{V}_1 + \vec{V}_2$) = ($\vec{V}_2 + \vec{V}_1$), но разность векторов может действовать в одном из двух противоположных направлений (с одной и той же скоростью) в зависимости от того, какой из векторов вычитается (другими словами, в зависимости от того, в какую сторону движется наблюдатель: от точки А к точке В или от точки В к точке А). Это объясняется тем, что ($\vec{V}_2 - \vec{V}_1$) ≠ ($\vec{V}_1 - \vec{V}_2$), за исключением ординарного случая, когда $\vec{V}_1 = \vec{V}_2$, то есть когда сдвига нет.

2.3.2 Действие вектора разности или вектора сдвига ветра в двух противоположных направлениях в зависимости от направления изменения ветра имеет важное значение в плане его влияния на воздушное судно (подробная информация приводится в главе 4). В п. 2.3.1 нетрудно заметить, что в приведенном выше примере вектор сдвига ветра при посадке направлен от точки А к точке В и будет соответствовать ($\vec{V}_2 - \vec{V}_1$), тогда как для взлета он будет направлен от точки В к точке А ($\vec{V}_1 - \vec{V}_2$), то есть оба вектора будут иметь одинаковую скорость, однако каждый из них будет направлен в противоположную другую сторону. На рис. 2-2 разность векторов вычисляется

а. Вектор обозначен буквой \vec{V} .

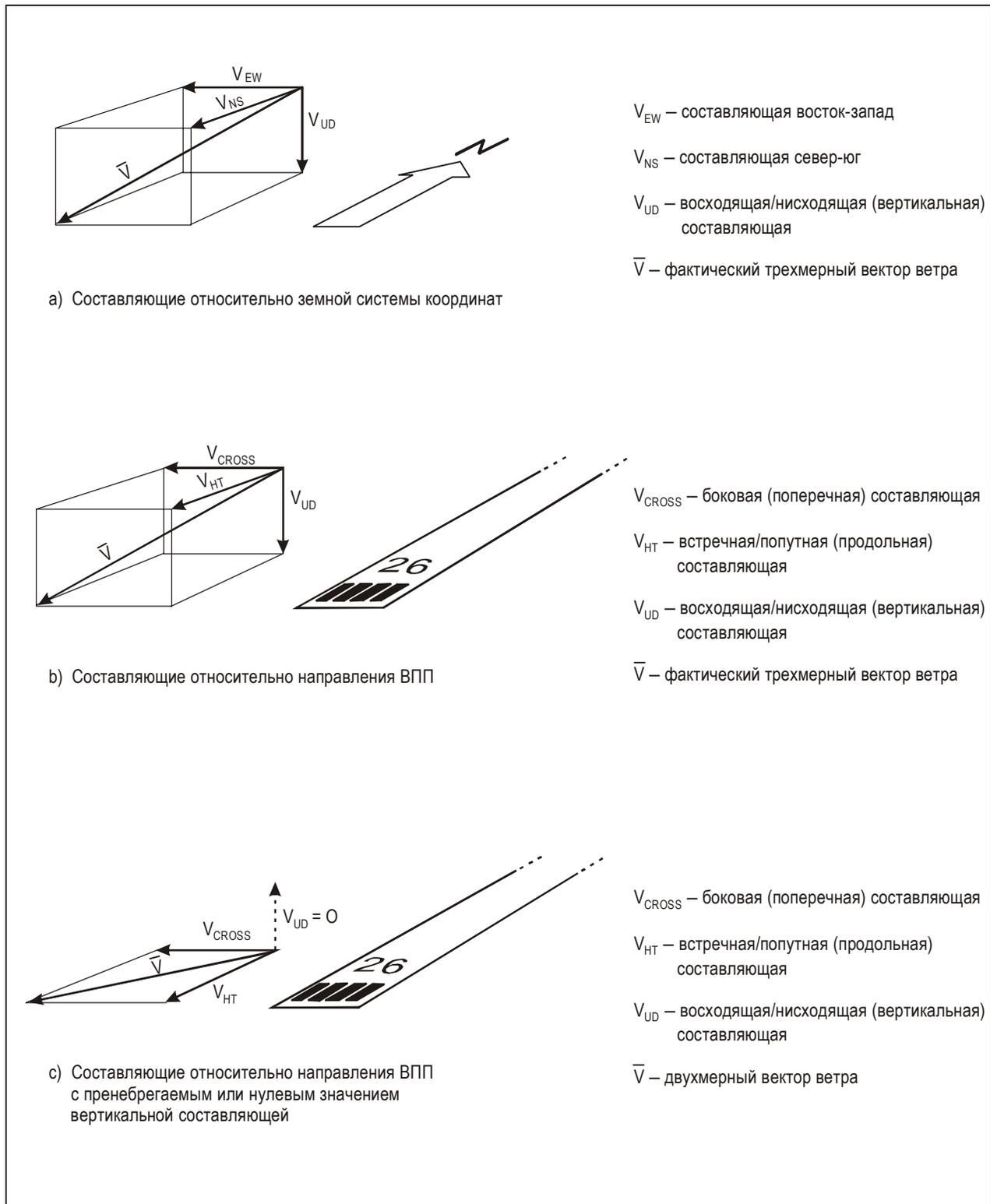


Рис. 2-1. Составляющие ветра в различных системах координат

соответственно по компонентам и по стандартным формулам. На практике обычно заранее рассчитываются таблицы, где величина сдвига ветра определяется путем ввода двух скоростей ветра и угла между ними, и эти параметры представляются в виде составляющих вдоль направлений ВПП (см. соответственно рис. 2-2 с) и п. 2.1.3).

2.3.3 В п. 2.3.2 иллюстрируется сдвиг ветра по вертикали, как если бы производились замеры одним анемометром на высоте 300 м (1000 фут), а другим на 150 м (500 фут) AGL. Такой же расчет можно было сделать для сдвига ветра по горизонтали, то есть если бы те же два анемометра были разнесены на 150 м (500 фут) на уровне земли. При одних и тех же значениях ветра (240/30 и 220/10) был бы получен точно такой же вектор сдвига, а его направление снова зависело бы от того, перемещается ли наблюдатель от точки А к точке В или от точки В к точке А, как в п. 2.3.2.

2.3.4 Трудно переоценить тот факт, что сдвиг ветра – это **вектор**, и поэтому должны приниматься в расчет как скорость, так и направление ветра в двух воздушных потоках. Сдвиг ветра нельзя рассчитать простым скалярным вычитанием скоростей ветра, за исключением особых случаев, когда два конкретных направления ветра точно совпадают или прямо противоположны. Наконец, следует отметить, что значение скалярного сдвига (то есть результат непосредственного вычитания скоростей ветра без учета векторов направления) всегда меньше величины векторного сдвига или равно ей; таким образом, этот подход в большинстве случаев приводит к занижению фактической величины сдвига.

2.4 ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ СДВИГА ВЕТРА

2.4.1 На рис. 2-2 сдвиг ветра между точками А и В составляет 070°/10,5 м/с (21 уз), а сдвиг между точками В и А 250°/10,5 м/с (21 уз). Интенсивность сдвига в обоих случаях составляет $21/5 = 2,1$ м/с на 30 м (1,05 м/с на 100 фут). Обычно интенсивность сдвига ветра принято выражать в километрах в час на 30 м или в метрах в секунду на 30 м или в узлах на 100 фут, поскольку эти единицы удобны и хорошо знакомы авиационному персоналу. В случае посадки или взлета воздушного судна в условиях, когда глиссада или траектория взлета составляет известный постоянный угол (например, угол наклона глиссады 3°), а путевая скорость воздушного судна известна и относительно постоянна, величину сдвига ветра можно перевести из уз/100 фут или м/с/30 м в уз/с или м/с/с, тем самым выражая интенсивность сдвига ветра в единицах ускорения (то есть изменения скорости во времени), что особенно удобно для пилотов (см. рис. 4-5).²

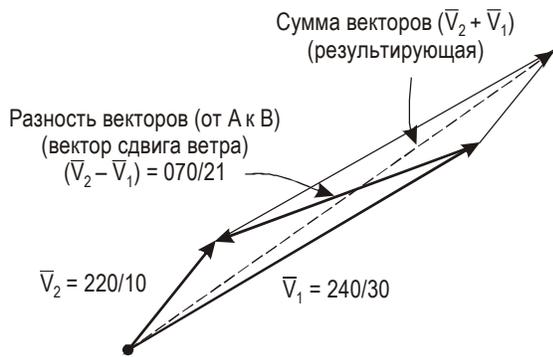
2.4.2 Другие единицы измерения сдвига ветра, часто используемые учеными и встречающиеся в исследовательских работах и научных публикациях, могут быть получены путем пространственного анализа следующим образом:

$$\text{Сдвиг ветра} = (\text{столько-то}) \text{ уз на } 100 \text{ фут, т. е.: } \frac{\text{единицы скорости}}{\text{единицы расстояния}} = \frac{L/T}{L} = \frac{1}{T},$$

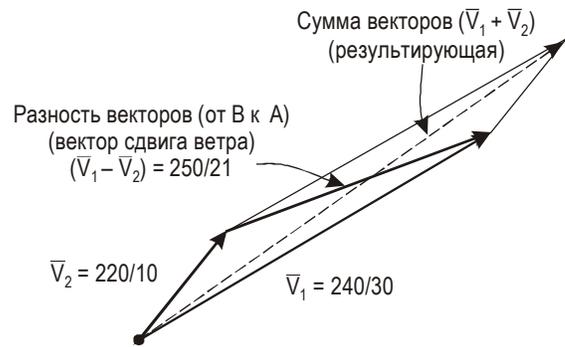
где L – расстояние и
 T – время.

Таким образом, единицы могут выражаться в s^{-1} . Рассуждая научно, s^{-1} должна считаться правильной единицей измерения сдвига ветра, однако в физическом смысле эти единицы измерения трудно интерпретировать, и на практике они не особенно полезны в вопросах эксплуатации воздушных судов.

I. **Путем построения** (начертить, соблюдая масштаб, и измерить величину (скорость) и направление, используя обычную или масштабную линейку и транспортир)



а) от точки А к точке В



б) от точки В к точке А

Простейший графический способ заключается в нанесении векторов ветра на полярную диаграмму, то есть в виде "годографа" (пример см. на рис. 3-2).

II. **Путем вычисления**

а) По составляющим:

		Составляющие восток-запад	Составляющие север-юг
1000 фут AGL	точка А, $\bar{V}_1 = 240/30$	+26	+15
500 фут AGL	точка В, $\bar{V}_2 = 220/10$	+6,4	+7,7

Примечание. Знаки составляющих противоположны обычным тригонометрическим условным знакам, поскольку направлением ветра считается то направление, откуда дует ветер.

Разность векторов от точки А к точке В (например, в направлении посадки воздушного судна) = $\bar{V}_2 - \bar{V}_1$.

Разность векторов составляющих восток-запад = $(6,4 - 26) = -19,6$.

Разность векторов составляющих север-юг = $(7,7 - 15) = -7,3$.

Разность величин (скорости) векторов = $\bar{V}_2 - \bar{V}_1 = \sqrt{(-19,6)^2 + (-7,3)^2} = 20,9 = 21$ уз.

Разность направлений векторов = $\bar{V}_2 - \bar{V}_1 = \tan^{-1} \frac{(-7,3)}{(-19,6)} = 20^\circ$.

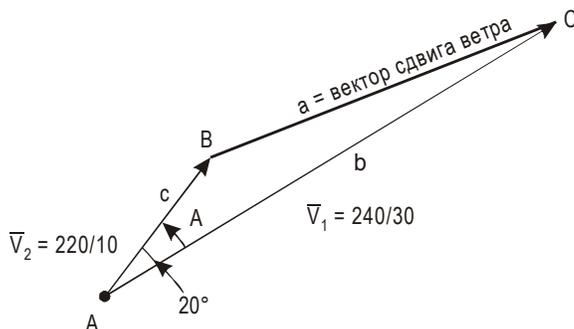
Поскольку обе составляющие разности векторов (сдвига) отрицательны, направление вектора сдвига ветра – из северо-восточного квадранта, и поскольку составляющая восток-запад \geq составляющей север-юг, направление = $(090 - 020) = 070^\circ$.

Вектор сдвига ветра от точки А к точке В (посадка) = $070/21$.

Вектор сдвига ветра от точки В к точке А (взлет) = $250/21$.

Рис. 2-2. Расчет сдвига ветра

b) С применением тригонометрических методов:



В данном случае две стороны треугольника известны и образуют угол.

Сторона "b" = 30, сторона "c" = 10 и угол, заключенный между направлениями векторов \overline{V}_1 и $\overline{V}_2 = 240^\circ - 220^\circ$.

$A = 20^\circ$.

Согласно основам тригонометрии, в таком треугольнике

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A,$$

(где "a" — величина разности векторов (сдвиг)),

$$\begin{aligned} \text{скорость сдвига} = "a" &= \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos A} \\ &= \sqrt{900 + 100 - 600(0,9397)} \\ &= \sqrt{436,2} = 20,9 \\ &= 21 \text{ уз.} \end{aligned}$$

Теперь известны три стороны треугольника ($a = 21$, $b = 30$ и $c = 10$). Направление вектора сдвига может быть найдено следующим образом:

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B.$$

$$B = \cos^{-1} \left[\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \right] = \frac{-363}{418} = -0,8684 = 150^\circ.$$

Направление вектора сдвига из геометрии диаграммы = $(180^\circ - 150^\circ + 40^\circ) = 070^\circ$ (или обратный угол 250° в зависимости от порядка вычитания векторов ветра).

Рис. 2-2. (продолж.)

2.4.3 Резюмируя три способа выражения интенсивности сдвига ветра, рассмотренные в пп. 2.4.1 и 2.4.2, в случае, когда ветер меняется с \overline{V}_1 в точке А на \overline{V}_2 в точке В (например, при посадке воздушного судна), а вектор сдвига ветра между точками А и В составляет $070^\circ/10,5$ м/с (21 уз) на 150 м (500 фут), получаем:

- a) интенсивность в м/с на 30 м = 2,1 м/с на 30 м или в уз/100 фут = 4,2 уз/100 фут;
- b) та же самая интенсивность в научных единицах = 0,07 м/с;
- c) интенсивность, которая может воздействовать на воздушное судно, производящее посадку, в км/ч/с (уз/с) (т. е. ускорение) для глиссады с углом наклона 3° при путевой скорости 300 км/ч (150 уз) (то есть при вертикальной скорости снижения 3,9 м/с (13 фут/с) = 1,09 км/ч/с (0,546 уз/с) или 0,025 g, где g – ускорение, обусловленное силой тяжести. Фактические составляющие сдвига встречного/попутного ветра рассчитываются путем определения разности векторов вдоль направлений ВПП.

2.4.4 Следует отметить, что рассматривавшийся до сих пор сдвиг ветра действует в свободной атмосфере и существует безотносительно к наличию или отсутствию в ней воздушного судна. Действительно, такие сдвиги ветра используются метеорологами при составлении годографов или при расчетах термального ветра. В этих случаях сдвиг между показателями ветра на двух уровнях в атмосфере вычисляется путем вычитания вектора ветра на меньшей высоте из вектора ветра на большей высоте, то есть $(\vec{V}_1 - \vec{V}_2)$ из примера, приведенного в п. 2.3.1. В главе 4, где рассматривается влияние сдвига ветра на летные характеристики воздушного судна, направление вектора сдвига ветра относительно траектории полета воздушного судна приобретает важное значение. В частности, как упоминалось в п. 2.4.3 с), необходимо рассчитать векторный сдвиг вдоль направлений ВПП, с тем чтобы учесть траекторию полета воздушного судна при взлете и посадке.

2.5 ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ПРАКТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СДВИГА ВЕТРА

2.5.1 Методы расчета сдвига ветра, описанные в п. 2.3, могут применяться лишь в том случае, если имеется информация о ветре в двух точках пространства, полученная, например, из донесения с борта снижающегося воздушного судна, из данных радиозонда или от двух разнесенных анемометров, установленных на разной высоте на мачтах или вдоль ВПП. Это в значительной мере ограничивает практическое использование таких методов, так как информация о ветре в требуемых конкретных точках обычно не может быть получена. С эксплуатационной точки зрения существуют еще два ограничения, которые следует иметь в виду. Расчет сдвига ветра по двум значениям ветра в точках, разделенных конкретным расстоянием, дает лишь обобщенное представление о сдвиге между двумя точками. Нет информации о том, является ли интенсивность сдвига линейной, или, если она нелинейна, то является ли она по крайней мере постепенной между этими точками, или же большая часть сдвига приходится на короткий участок где-то между точками. Следовательно, такой метод не всегда дает информацию о максимальной интенсивности сдвига в слое, а именно она и требуется пилоту. Данная проблема отображена на рис. 2-3 с использованием параметров сдвига ветра, рассчитанных на рис. 2-2.

2.5.2 В случае 1 из рис. 2-3 сдвиг между высотами 300 м (1000 фут) и 150 м (500 фут) является приблизительно линейным, а общий сдвиг составляет 10,5 м/с (21 уз) с интенсивностью 2,1 м/с/30 м (1,05 м/с/100 фут); он получен в результате расчета (всего лишь по двум значениям ветра, имеющимся для точек А и В) и очень хорошо отражает фактические условия. Иначе обстоит дело в случаях 2 и 3, где, хотя расчетное значение общего сдвига также составляет 10,5 м/с (21 уз) или 2,1 м/с/30 м (1,05 м/с/100 фут), данный сдвиг сосредоточен на участке 60 м (200 фут) с неожиданной местной интенсивностью сдвига ветра, намного превышающей 2,1 м/с/30 м (4,2 уз/100 фут) и достигающей в данном примере максимальной величины 5,25 м/с/30 м (10,5 уз/100 фут). Следует, однако, заметить, что на практике линейный или по крайней мере постепенный сдвиг ветра на малых высотах более типичен, тогда как нелинейный сдвиг бывает исключением, характерным для определенных условий (см. п. 3.1.5).

2.5.3 Второе ограничение касается расчета сдвига ветра с использованием радиозонда или шара-пилота.³ В этой связи следует отметить, что полученные таким образом параметры уже представляют средние значения ветра в последовательных слоях атмосферы, а ветер на конкретных высотах выводится методом интерполяции⁴, и, следовательно, это может не указывать на наличие фактического сдвига ветра между двумя отдельными высотами.

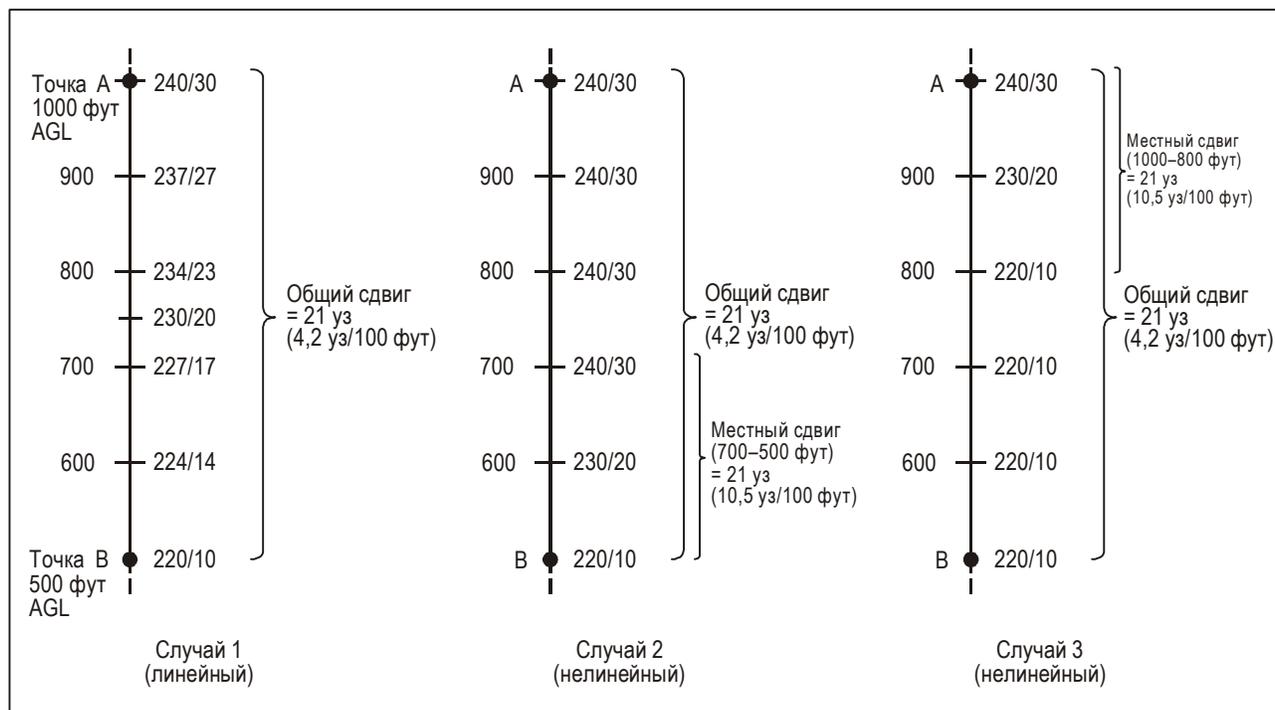


Рис. 2-3. Линейный и нелинейный сдвиг ветра

Справочные материалы

1. Melvin, 1975: The dynamic effect of wind shear, *Pilot Safety Exchange Bulletin*, Flight Safety Foundation Inc., Arlington, VA.
 2. Carter, 1977: *Aerospace Safety*.
 3. Jasperson, 1982: The limiting accuracy of wind profiles obtained by tracking rising balloons, *Journal of Applied Meteorology*.
 4. World Meteorological Organization Compendium of lecture notes, 1971: Determination of upper winds at specified levels, WMO No. 291.
-

Глава 3

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ СДВИГ ВЕТРА НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ

3.1 ПРОФИЛЬ ВЕТРА В НИЖНИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1.1 Общеизвестно, что даже вне сферы воздействия особых метеорологических (МЕТ) явлений, вызывающих сдвиг ветра, последний всегда присутствует в атмосфере, хотя при нормальных обстоятельствах такой сдвиг ветра не создает затруднений для пилота. Это особенно заметно на высотах менее 600 м (2000 фут), где сопротивление, создаваемое трением воздуха в непосредственной близости от поверхности земли, вызывает изменение скорости и направления ветра по мере изменения высоты. Такой слой обычно называют "слоем трения", и он, в свою очередь, может подразделяться на:

- а) "поверхностный пограничный слой" от поверхности земли до высоты около 100 м (330 фут), где движение воздуха определяется преимущественно трением о поверхность земли;
- б) "слой Экмана"^а от высоты около 100 м (330 фут) до высоты не менее 600 м (2000 фут), где воздействие трения, хотя еще значительное, последовательно уменьшается с увеличением высоты, а другие воздействующие факторы, такие как силы Кориолиса и горизонтальный барический градиент, приобретают все более важное значение.

3.1.2 В слое трения скорость ветра имеет тенденцию к возрастанию с увеличением высоты по всему слою, причем самые значительные изменения происходят непосредственно над землей в поверхностном граничном слое. Направление ветра, как правило, остается неизменным с увеличением высоты в пределах поверхностного пограничного слоя, но поворачивает по часовой стрелке (против часовой стрелки) с увеличением высоты в северном (южном) полушарии по всему слою Экмана.

ПОВЕРХНОСТНЫЙ ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ

3.1.3 В самом нижнем слое атмосферы, ниже высоты порядка 100 м (330 фут), направление ветра приблизительно постоянно по высоте, а скорость ветра, как правило, возрастает с высотой, причем это изменение бывает наиболее резким непосредственно над поверхностью земли.¹ Выведение на основе физических принципов теоретической взаимосвязи между скоростью ветра и высотой в поверхностном пограничном слое при всех возможных условиях устойчивости связано с определенными трудностями.² Однако установление такой взаимосвязи для особых условий

а. В. Вальфрид Экман (1874–1954), шведский физик-океанограф, наиболее известен по своим исследованиям океанических течений.

нейтральной устойчивости (т. е. не являющихся ни устойчивыми, ни неустойчивыми), в которых фактический вертикальный градиент принимается равным вертикальному градиенту сухой адиабаты в ненасыщенном воздухе и градиенту насыщенной адиабаты в насыщенном воздухе (при малом вертикальном движении по сравнению с горизонтальным движением из-за подъемной силы) является относительно несложной задачей. Такие условия приблизительно соблюдены в поверхностном пограничном слое, пока имеется достаточно сильный ветер, обеспечивающий турбулентное смешивание. При очень слабом ветре, особенно в условиях штиля с заметной инверсией на малых высотах, нейтрально устойчивый слой не устанавливается, и эту теорию применить невозможно. Допуская, что в поверхностном слое атмосфера нейтрально устойчива, при помощи следующего уравнения выводится теоретическое изменение скорости ветра по высоте:

$$u = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0},$$

где u – скорость ветра на высоте z ;

u_* – "скорость трения";

k – постоянная Кармана^b, равная приблизительно 0,38;

z_0 – длительность пересеченности, которая зависит от характера (пересеченности) конкретной поверхности.

Это уравнение известно как "логарифмический закон ветра" или как "уравнение Прандтля"^c и служит для построения хорошо известного логарифмического профиля скорости ветра.

3.1.4 Логарифмический закон ветра очень хорошо совпадает с наблюдаемым профилем скорости ветра в поверхностном пограничном слое, пока выполняется условие нейтральной устойчивости. В случаях, когда поверхностный пограничный слой неустойчив, сдвиг скорости ветра по высоте будет меньше предсказанного вышеприведенным уравнением, а если условия устойчивы, сдвиг будет больше, чем предполагается по вышеуказанному уравнению (см. рис. 3-1 а)).³

3.1.5 Экстремальный вариант условия устойчивости, который может охватывать весь слой трения, имеет место, если устойчивость настолько значительна (например, из-за образования сильной инверсии излучения на малых высотах в ночное время), что турбулентное смешивание и переход количества движения из обширного потока выше инверсии прекращаются. Это приводит к тому, что приземный ветер ослабевает или наступает штиль, и, поскольку поток воздуха выше уровня инверсии практически отрезан от замедляющего воздействия трения у поверхности земли, на вершине инверсии образуется максимум скорости ветра (см. рис. 3-1 б)).^{4,5} При определенных обстоятельствах, например, если воздушный поток отклоняется горной цепью в направлении широкой равнины, максимум скорости ветра сосредоточивается в сравнительно узкой полосе, напоминающей струйное течение. Такие максимумы скорости ветра обычно называют "струйными течениями на малых высотах". Поскольку максимальная скорость его может превышать 30 м/с (60 уз), такое описание представляется вполне оправданным. Этот термин был впервые применен для описания струеподобного максимального ветра на малых высотах, часто наблюдающегося на Великих равнинах и в других районах Соединенных Штатов Америки, в Скандинавии и на восточном побережье Саудовской Аравии. В таких обстоятельствах сдвиг ниже струйного течения может быть значительным и пропорциональным мощности инверсии.⁶ Максимум ветра обычно наблюдается на высоте ниже 500 м (1600 фут), что представляет большой интерес для авиации.

b. Теодор фон Карман (1881–1963), венгерский инженер, наиболее известен по своим работам в области применения математики и физики к аэродинамике.

c. Людвиг Прандтль (1875–1953), немецкий физик, внесший фундаментальный вклад в аэродинамику.

3.1.6 Логарифмический закон ветра вызывает интерес не только с теоретической точки зрения, поскольку он также дает базовую модель сдвига ветра для использования при сертификации систем автоматической посадки^d с помощью имитаторов, а также при подготовке пилотов. Однако следует подчеркнуть, что во всех случаях использования этой модели в тренажере изменение сдвига ветра по высоте будет постепенным и непрерывным: при имитации посадки со встречным приземным ветром всегда будет происходить ослабление встречного ветра на снижении, а при имитации взлета со встречным приземным ветром последний всегда будет усиливаться по мере набора высоты. Как видно из определения, направление ветра в пределах слоя никогда не будет меняться. Тем не менее, с учетом таких ограничений модель все же хорошо воспроизводит средние условия, с которыми пилоту вероятнее всего придется столкнуться в самых нижних слоях атмосферы на высотах ниже 100 м (330 фут). В логарифмическом профиле сдвиг ветра имеет наибольшую величину на высоте до 30 м (100 фут) и уменьшается по мере возрастания высоты; интенсивность сдвига может превышать 2,5 м/с/30 м (5 уз/100 фут) на первых 15 м (50 фут), понижаясь до менее 0,5 м/с/30 м (1 уз/100 фут) выше 100 м (330 фут). Вопрос разработки имитационных моделей на основе более аномальных сдвигов ветра рассматривается в главе 6.

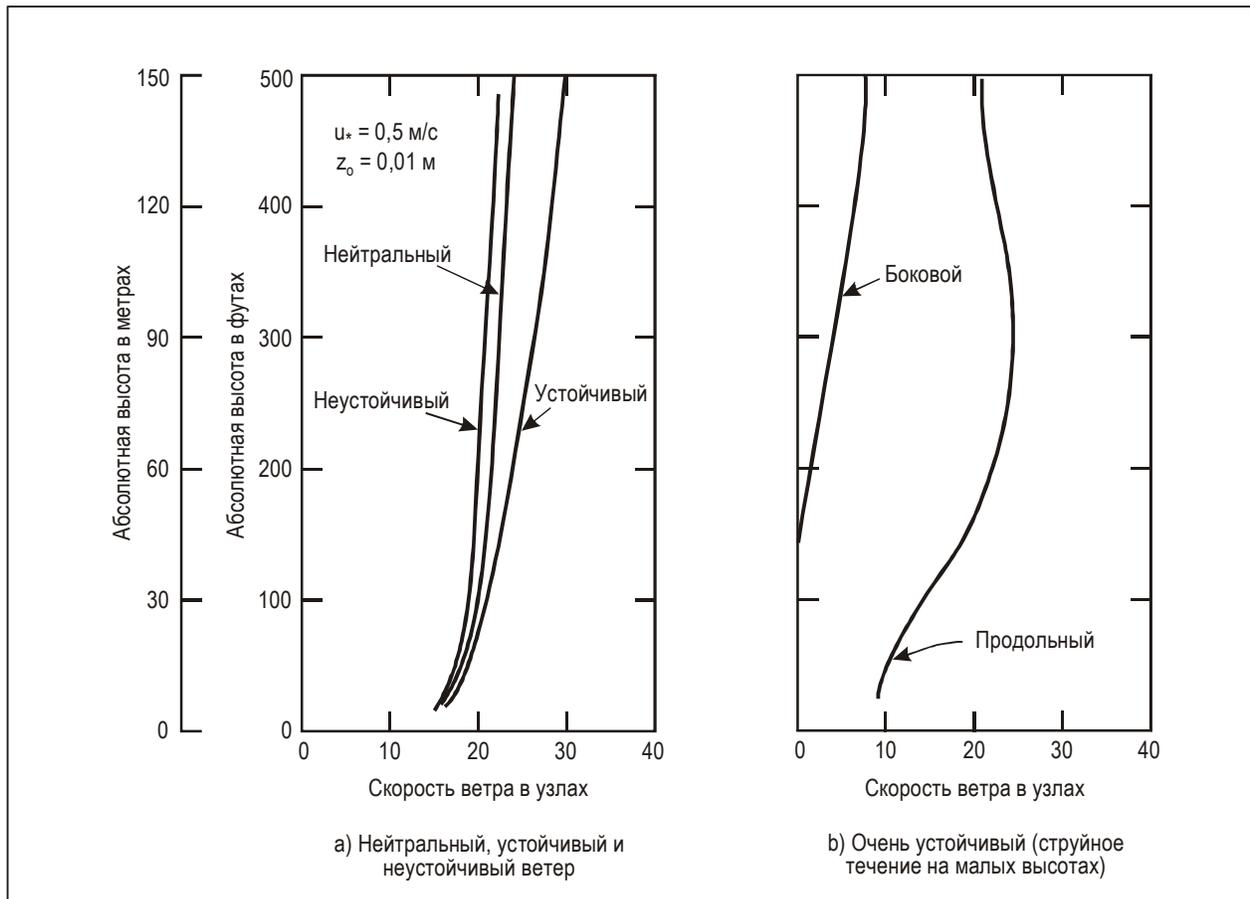


Рис. 3-1. Профили ветра при атмосферном воздействии пограничного слоя
(Эллис и Кинан, 1978 г.)

d. См. *Руководство по летной годности* (Doc 9760), том II, добавление L к главе 4.

СЛОЙ ЭКМАНА

3.1.7 Выше поверхностного пограничного слоя на высотах примерно от 100 м (330 фут) до порядка 600 м (2000 фут) влияние трения на ветер быстро уменьшается с высотой и нарастает преобладание горизонтального барического градиента и силы Кориолиса. Как и в случае поверхностного пограничного слоя, скорость ветра на высотах между 100 м (330 фут) и 600 м (2000 фут) возрастает с высотой при уменьшении воздействия трения. Однако направление ветра не остается постоянным с увеличением высоты, как это принималось для поверхностного пограничного слоя, а разворачивается по часовой стрелке (против нее) с увеличением высоты в северном (южном) полушарии.

3.1.8 Теория, дающая математическое объяснение этим явлениям, впервые была разработана Экманом, и она применима к атмосфере примерно между высотами 100 м (330 фут) и 600 м (2000 фут), т. е. в слое, который с тех пор стал известен как слой Экмана. Уравнение, выведенное Экманом, применительно к атмосфере может быть записано следующим образом:⁷

$$u = V_g - V_g \sqrt{2 \sin a e^{-Bz} \cos \left(Bz + \frac{\pi}{4} - a \right)}$$

и

$$v = V_g \sqrt{2 \sin a e^{-Bz} \sin \left(Bz + \frac{\pi}{4} - a \right)},$$

где u и v – горизонтальные составляющие ветра на высоте z ;

V_g – геострофический ветер;

a – угол между направлениями фактического (на высоте анемометра) и геострофического ветра (см. п. 3.1.10);

B – постоянная, учитывающая параметры вязкости и силы Кориолиса.

3.1.9 По всей толщине слоя Экмана достигается равновесие между трением, горизонтальным барическим градиентом и силой Кориолиса. В нижней части слоя Экмана эти три силы имеют величину равного порядка, и уравновешенность потока достигается за счет ветра, дующего поперек изобар в сторону пониженного давления. Угол пересечения изобар этим потоком экспоненциально уменьшается с увеличением высоты по мере ослабления воздействия трения до тех пор, пока не будет достигнут высотный уровень, где воздействием трения можно пренебречь, а между горизонтальным барическим градиентом и силой Кориолиса устанавливается равновесие и ветер дует вдоль изобар.

3.1.10 Высота, на которой ветер дует вдоль изобар, именуется высотой геострофического ветра или просто верхней границей слоя трения. На этой высоте и выше ветер, параметры которого вычислены по теории Экмана, очень близок к геострофическому. Согласно этой теории, угол пересечения изобар потоком в слое Экмана составляет максимум 45° непосредственно у поверхности или чуть выше и экспоненциально уменьшается на высотах более примерно 100 м (330 фут) до 0° на верхней границе слоя трения. Если вычисленный ветер в слое Экмана представить в форме годографа, концевые точки векторов ветра описывают равноугольную спираль, известную под названием спирали Экмана (см. рис. 3-2).

3.1.11 На практике выясняется, что скорость ветра в слое Экмана, как правило, возрастает с увеличением высоты, ветер дует под углом к изобарам, этот угол уменьшается с увеличением высоты и ветер поворачивает по часовой стрелке (против нее) с увеличением высоты в северном (южном) полушарии. Однако показанная на рис. 3-2 идеализированная спираль получается редко, а за пределами экваториальных областей, где значение силы Кориолиса близко к нулю и ветер может

дуть практически под любым углом к изобарам, угол пересечения изобар потоком редко превышает 30° . Комбинация логарифмических профилей ветра и профилей Экмана представляет достоверное отображение "нормального" сдвига ветра (т. е. без воздействия особых метеорологических явлений, вызывающих сдвиг ветра) на высотах от поверхности земли до порядка 600 м (2000 футов).

3.1.12 После проведенной интенсивной работы по созданию комплексных систем наблюдения за ветром на аэродромах, таких как комплексная аэродромная метеосистема (ITWS), описанная в п. 5.1.36 и в последующих пунктах, и система определения профиля ветра, используемая в качестве вспомогательного элемента в разработанной Федеральным авиационным управлением/Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (ФАУ/НАСА) Соединенных Штатов Америки системе эшелонирования воздушных судов с учетом спутных вихрей (AVOSS), описание которой приводится в п. 3.8.3, был собран значительный объем данных о профилях ветра в слое Экмана и соответствующем сдвиге ветра.

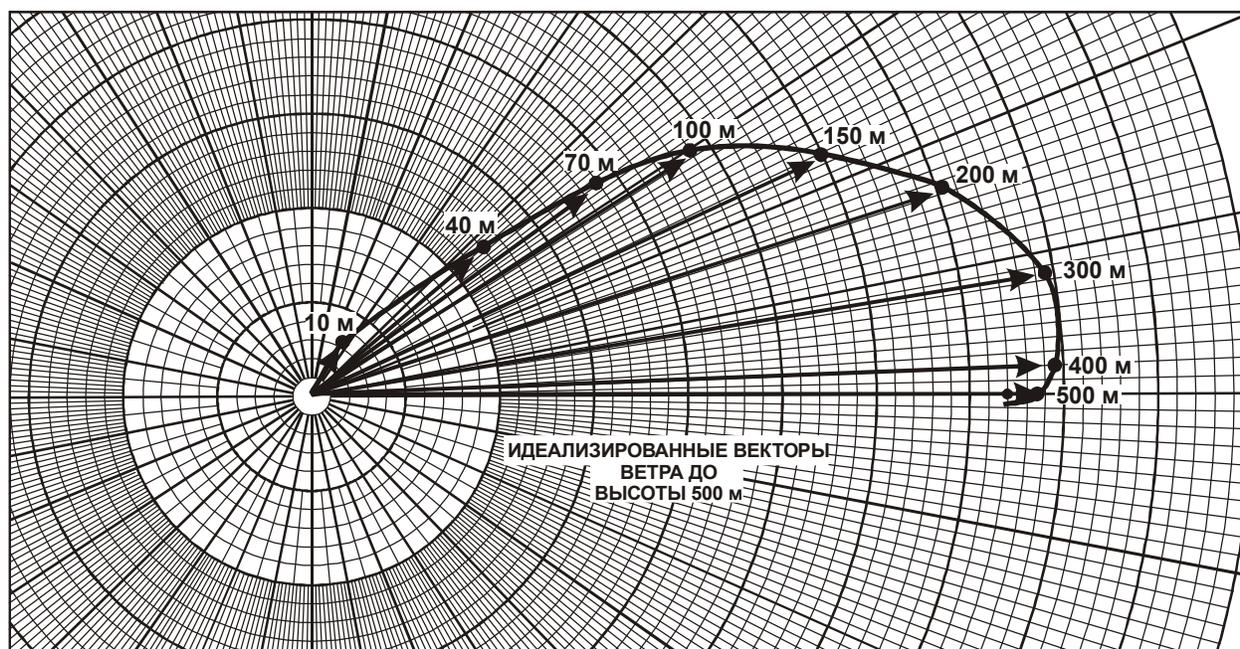


Рис. 3-2. Спираль Экмана

3.1.13 Указанные профили ветра на аэродромах представляют собой более чем чисто теоретический интерес в связи с возрастающим интересом со стороны службы управления воздушным движением (УВД) к использованию информации о детальной структуре ветра вплоть до высоты 600 м (2000 футов) для повышения эффективности работы аэродрома за счет более четкой оптимизации интервалов между посадками воздушных судов. Исследования⁸ показывают, что посадка нескольких дополнительных воздушных судов в час на аэродромах с ограниченной пропускной способностью может обеспечить очень крупные финансовые выгоды (по оценкам –

17 млн долл. при использовании данных о ветре в районе аэропорта Далласа/Форт-Уорт и 27 млн долл. в международном аэропорту имени Джона Ф.Кеннеди (JFK), Нью-Йорк). Хотя сильного сдвига ветра обнаружено не было (т. е. сдвиг неконвективного профиля), сдвиги ветра в более высоких слоях профиля требуют от пилотов самого внимательного отношения к скорости захода на посадку, с тем чтобы избежать необоснованного ухода на второй круг со всеми вытекающими из этого затратами.

МОДЕЛИ ПРОФИЛЯ ВЕТРА ДЛЯ УСЛОВИЙ НЕНЕЙТРАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

3.1.14 Эмпирически выведены и другие модели, представляющие профили атмосферного ветра в условиях атмосферы, когда устойчивость не является нейтральной.^{9,10,11} Наиболее известной из них является модель на основе "степенного закона", которая связывает скорости ветра на двух высотных уровнях атмосферы посредством параметра устойчивости, а именно:

$$u = u_1 \left[\frac{z}{z_1} \right]^\gamma,$$

где u, u_1 – скорости ветра на высотах соответственно z, z_1 ;

γ – параметр, зависящий от устойчивости, пересеченности земной поверхности и высоты и имеющий значение от 0 до +1, определяемое эмпирически.

В адиабатических условиях при больших скоростях ветра в слое между высотами 10 и 200 м обычно применяется степенной закон.

3.2 ВЕТЕР, ОБТЕКАЮЩИЙ ПРЕПЯТСТВИЯ

3.2.1 Сильные приземные ветры, взаимодействуя с препятствиями на пути преобладающего потока, расположенными с наветренной стороны траектории захода на посадку или вылета, такими как большие здания, невысокие холмы или тесно расположенные группы высоких деревьев, могут создавать местные области сдвига ветра. В подобных обстоятельствах сдвиг ветра обычно сопровождается турбулентностью при ясном небе (ТЯН). Влияние препятствий на преобладающий поток воздуха зависит от многих факторов, самым важным из которых является скорость ветра и его направление относительно препятствия, а также масштаб препятствия по отношению к размерам ВПП.

3.2.2 Чаще всего сдвиг ветра подобного рода создается большими строениями вблизи ВПП, особенно на небольших аэродромах. Несмотря на то, что высота строений ограничивается в зависимости от их удаленности от кромки летной полосы, чтобы они не создавали помех для воздушных судов, для их размеров характерна довольно значительная ширина, и по разным причинам они группируются в одном и том же районе. Это означает, что при сравнительно небольшой высоте строений (например, ангары, емкости для хранения топлива и т. п.) они представляют собой широкий и прочный барьер на пути преобладающего приземного ветра. Потоки воздуха обтекают строения сбоку и сверху, что приводит к изменению значений ветра вдоль ВПП (см. рис. 3-3 а). Такой горизонтальный сдвиг ветра, который обычно носит местный характер и является пологим и турбулентным, создает особые трудности для легких воздушных судов, производящих полеты на небольших аэродромах, однако отмечалось его воздействие и на более тяжелые воздушные суда.¹²

3.2.3 Для летных полей иногда буквально вырубают участки обширных лесов, в результате чего ВПП оказывается фактически внутри "тоннеля" из деревьев. Если граница деревьев находится в стороне от летной полосы и они не служат помехой для воздушных судов, поскольку высота лесного или плантационного полога может достигать 30 м (100 фут), приземный ветер вдоль ВПП часто почти не связан с направлением преобладающего ветра над пологом леса. Чаще всего приземный ветер бывает слабым и переменным, либо наблюдается полный штиль вне всякой зависимости от параметров преобладающего ветра (см. рис. 3-3 б).

3.2.4 Общий интерес представляют ВПП, которые в силу необходимости были сооружены в узких долинах или вдоль гряды низких холмов. В этом случае масштаб препятствия таков, что оно может повлиять на воздушные потоки на малой высоте в обширном районе. Там, где гряда низких холмов простирается рядом с ВПП, высота гряды может оказаться недостаточной для отклонения потока, но при преодолении потоком холмов он приобретает вертикальную (нисходящую) составляющую, которая в зависимости от близости холмов к ВПП может приводить к возникновению вдоль ВПП местных нисходящих потоков (см. рис. 3-3 с)). В тех случаях, когда холмы или горы достаточно высоки, чтобы отклонять ветер на малых высотах, приземный ветер может втягиваться

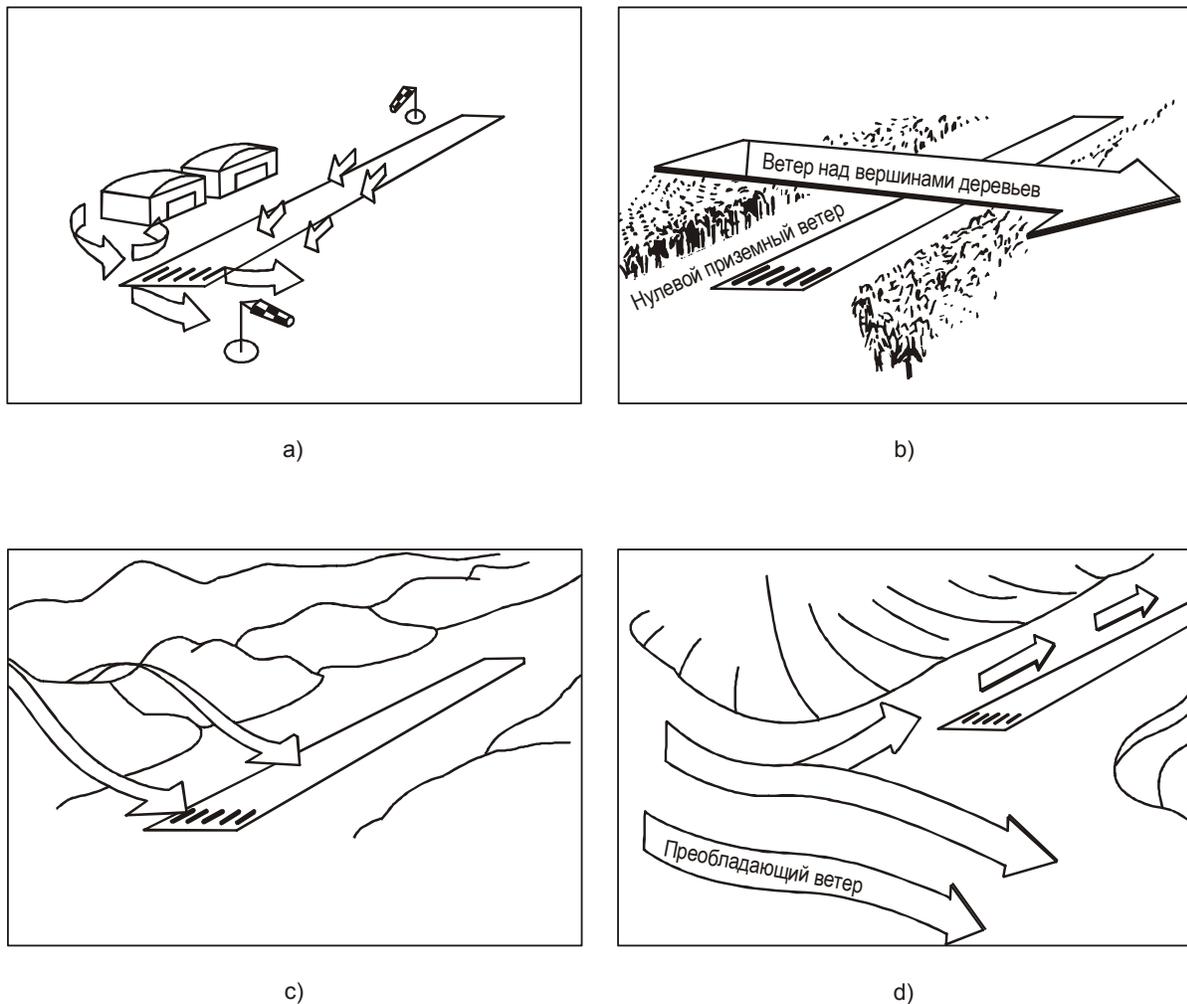


Рис. 3-3. Ветер, обтекающий препятствия

по сужающейся спирали вдоль ВПП (см. рис. 3-3 d)). В особых случаях, когда холмы располагаются по обе стороны ВПП, втянутый по спирали поток может проявлять свойства, сходные с эффектом трубки Вентури,^е что приводит к ускорению приземного ветра.¹³

3.2.5 Сильные приземные ветры на аэродромах, где не имеется существенных препятствий на пути воздушных потоков, также могут приводить к возрастанию сдвига ветра. Это происходит потому, что в ближайших к земной поверхности слоях атмосферы сильный ветер увеличивает механическую турбулентность, которая в свою очередь передает момент количества движения на всю область слоя и уменьшает сдвиг ветра у земли, при этом соответственно возрастает сдвиг ветра на более высоких уровнях поверхностного пограничного слоя.

3.2.6 Описанный выше, в пп. 3.2.1–3.2.4, сдвиг ветра происходит из-за механического воздействия препятствий, с которыми сталкивается преобладающий воздушный поток. В определенных обстоятельствах, помимо механического воздействия при обтекании ветром препятствий, на поток могут влиять и термодинамические свойства атмосферы, создавая тем самым особые условия сдвига ветра.

3.2.7 Наиболее распространенным из таких условий является так называемый кататический ветер, который дует в ночное время над наклонной земной поверхностью в отсутствие облачности и при слабом барическом градиенте, особенно при антициклоне. Ветер образуется из-за стекающего вниз по склону гравитационного потока более холодного и плотного воздуха, который соприкасается со склоном ниже более теплого и менее плотного воздуха, который находится на той же высоте, но на некотором удалении от поверхности склона. Сдвиг ветра и турбулентность на малых высотах присутствуют вдоль передней кромки и верхней границы более холодного воздуха при его движении вниз по склону холма, и иногда может происходить внезапное ускорение, напоминающее фронт слабых порывов (см. пп. 3.5.8–3.5.10). Холодный, плотный воздух собирается как бы в "лужу" на дне долины, образуя температурную инверсию вблизи земли. Если поверхностная температурная инверсия достаточно сильна, господствующие над земной поверхностью ветры могут скользить над верхней границей этой "стоячей лужи" холодного воздуха, залегающего на дне долины. Это приводит к сдвигу ветра на некоторой высоте над уровнем земли вдоль верхней границы инверсии. Воздействие проявляется в широком диапазоне интенсивности, от долинных или дренажных ветров в самом мелком масштабе до фьордовых ветров в Норвегии, мистралья на юге Франции, боры в Адриатике и сильных ветров континентального масштаба, зарождающихся в Гренландии и Антарктиде.¹⁴ Для образования этих крупномасштабных явлений обычно необходимы и другие факторы, помимо кататического эффекта, такие как очень холодный воздух на возвышенностях, оптимальная ориентация изобар и, как следствие этого, преобладающий воздушный поток, а также, применительно к мистралю, эффект Вентури в долине Роны (Франция), который может способствовать увеличению скорости холодного северо-западного ветра со склонов гор до 35 м/с (70 уз) или более.

3.2.8 Простой пример потока приземного ветра, перетекающего через гряду низких холмов вблизи ВПП, упомянут в п. 3.2.4. В более крупном масштабе, когда воздушный поток перетекает через горный хребет, в зависимости от скорости и устойчивости потока воздуха в нем могут создаваться стоячие волны с подветренной стороны гор.¹⁵ Отдельные горные хребты, такие как Скалистые горы в Соединенных Штатах Америки, с уникальными свойствами (особенно с крутыми подветренными склонами) и благоприятными метеорологическими условиями, известны своими ярко выраженными подветренными волнами. Наиболее благоприятные метеорологические условия для образования подветренных волн включают:

е. Джовани Вентури (1746–1822), итальянский физик, внесший вклад в гидродинамику, включая разработку названной в его честь "трубки Вентури".

- a) устойчивый слой воздуха между двумя менее устойчивыми слоями, один из которых расположен вблизи земли, а другой на большей высоте;
- b) ветер, дующий со скоростью более 7,5 м/с (15 уз) под углом в пределах 30° с любой стороны к линии, пересекающей гребень под прямым углом;
- c) малый сдвиг направления ветра или отсутствие этого сдвига в устойчивом слое;
- d) перепад давления на уровне моря в местности, разделенной горным хребтом.

3.2.9 Если образующиеся подветренные волны имеют достаточно большую амплитуду, под гребнем волны может формироваться замкнутый вращающийся поток, или вихрь. В экстремальных условиях такой вращающийся поток может проникать до уровня земли и поворачивать вспять приземный ветер непосредственно под осью вращения (см. рис. 3-4). В таких экстремальных условиях отмечались моменты, когда скорость вызванных вращающимся потоком приземных порывов превышала 50 м/с (100 уз), например во время "ветряных бурь" недалеко от города Боулдер (штат Колорадо).¹⁶ Факторы, необходимые для образования таких экстремальных условий, в полной мере еще не поняты, однако высказывалась мысль, что значительную роль здесь может играть некая форма природного резонанса и усиления. При достаточной влажности воздушного потока в верхних частях замкнутого вихря формируется весьма турбулентное "вращающееся облако". Такие неподвижные волновые системы создают значительные нисходящие потоки вдоль края гор, а также менее мощные нисходящие потоки на довольно значительном удалении от горных склонов во вторичных и третичных сериях волн, образующихся на подветренной стороне горы.

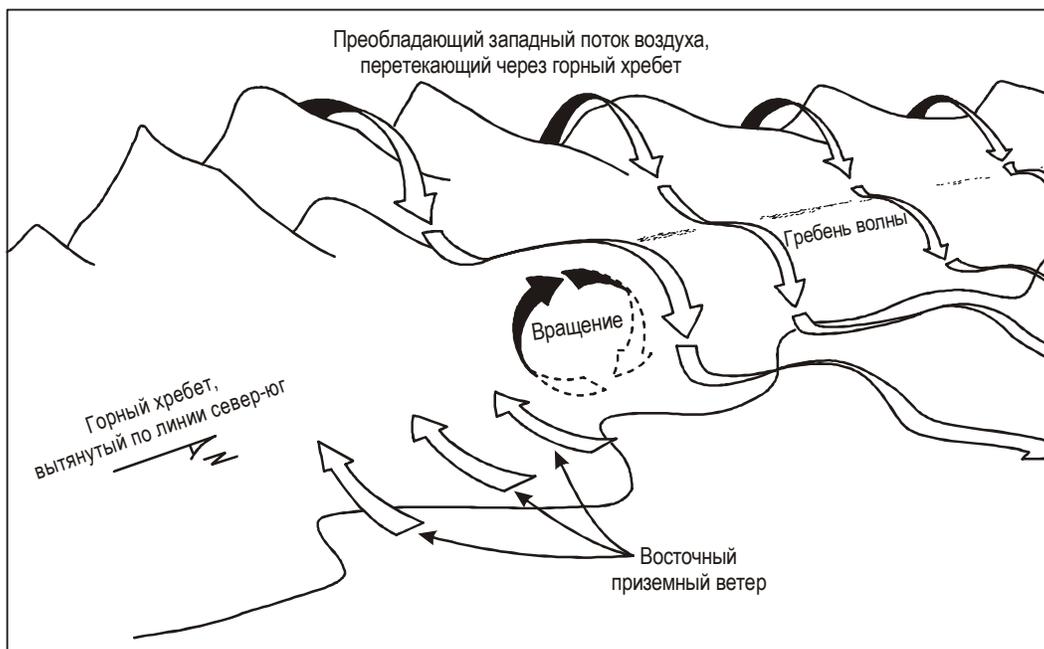


Рис. 3-4. Подветренные волны

3.2.10 Другим возможным последствием перетекания воздушного потока через горный хребет является "фен" (например, "Чинук" на западе Канады и "Санта-Ана" в Калифорнии, Соединенные Штаты Америки), дующий вниз по подветренному склону гор. В большинстве случаев образование такого ветра вниз по склону связано с тем, что нагнетаемый через горы воздушный поток обладает

достаточной влажностью и на наветренных склонах формируются облачность и осадки. В этих условиях поднимающийся воздух охлаждается в соответствии с градиентом насыщенной адиабаты, и если вода высвобождается в виде осадков на наветренных склонах, значительная доля адиабатического нагрева при движении воздуха вниз по подветренному склону происходит в соответствии с градиентом сухой адиабаты. Следовательно, воздух достигает подножья в виде заметно теплого, сухого ветра. Такой ветер – "фен" – может начинаться совершенно внезапно, вызывая сильные порывистые ветры на аэродромах, расположенных в его полосе. В условиях сильной температурной инверсии вблизи земли фен скользит по верхней границе инверсии, создавая сдвиг ветра вдоль зоны инверсии на высоте от 100 до 500 м (330–1600 фут) над уровнем земли. Наблюдались также случаи, когда фен развивался без образования осадков на наветренных склонах горного хребта. Считается, что при этом теплый, сухой ветер, дующий по склону, зарождается на высоте над гребнем горной цепи, возможно, по причине образования стоячей подветренной волны, описанной в пп. 3.2.8 и 3.2.9.

3.2.11 Существует еще один вид волн, встречающихся в определенных районах мира, – волнах, которые не являются неподвижными, а распространяются в виде гравитационных волн в нижних слоях атмосферы, особенно ранним утром. Волна такого типа чаще всего наблюдается в заливе Карпентария на севере Австралии, где ее называют "утренняя gloria".¹⁷ Это название, как полагают, происходит от эффектного зрелища одного или нескольких шквалистых облаков, которые сопровождают распространение волны. На рис. 3-5 показан поперечный разрез относительных линий обтекания, связанных с типичной "утренней gloriей".¹⁸ Хотя порывы приземного ветра при прохождении "утренней gloriи" обычно не превышают 10 м/с (20 уз), они возникают внезапно, направление ветра меняется быстро (зачастую в диапазоне 180°), причем появляются значительные нисходящие потоки в самой волне.¹⁹ Волна распространяется довольно равномерно, обычно со скоростью более 10 м/с (20 уз), и при ее прохождении происходит резкий скачок давления. Причины возникновения волны такого вида еще не совсем ясны, но предполагается, что оно связано с таким триггерным возмущением, какое наблюдается при распространении фронта морского бриза, фронта порывов или холодного фронта, вдоль ночной инверсии, которая действует как волновод впереди самого фронта. Вполне очевидно, что такое явление может повлиять на летные характеристики воздушных судов при посадке и взлете. Еще предстоит подтвердить фактами, были ли эти явления причастны к имеющим место авиационным происшествиям, но некоторые исследователи полагают, что были.²⁰

3.3 ПОТОК ВОЗДУХА, СВЯЗАННЫЙ С ФРОНТАЛЬНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

3.3.1 Фронтальные поверхности – это переходные зоны, разграничивающие воздушные массы с различной температурой и, следовательно, имеющие разную плотность. При соприкосновении двух таких масс воздуха равновесие устанавливается таким образом, что более холодный и плотный воздух располагается в форме клина ниже более теплого и менее плотного воздуха с небольшим углом наклона относительно горизонтали. Наклон фронтальной поверхности вызван вращением земли, но степень наклона зависит также от контраста в распределении температур и ветра вдоль границы между двумя воздушными массами: чем больше контраст, тем круче наклон. Динамика фронтальных поверхностей обуславливает резкое изменение скорости ветра поперек поверхности, особенно в низких слоях атмосферы; таким образом, фронтальная поверхность по своей природе уже является зоной сдвига ветра.

3.3.2 Пересечение фронтальной поверхности горизонтальной плоскостью обозначает положение фронтальной поверхности на конкретной высоте; пересечение с поверхностью земли называют фронтом на поверхности земли или просто фронтом. Фронты классифицируются в соответствии с их движением и результирующими температурными изменениями, происходящими в местах прохождения фронта, причем холодный (теплый) фронт определяется как фронт, вдоль которого на поверхности холодный (теплый) воздух замещается более теплым (более холодным)

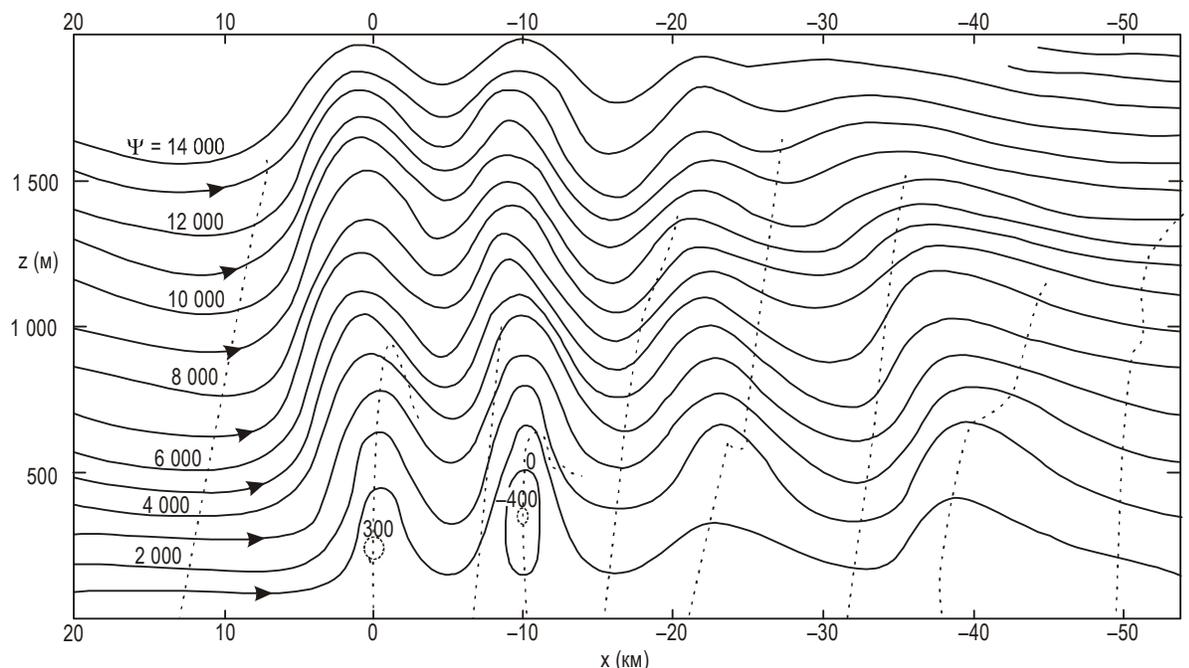
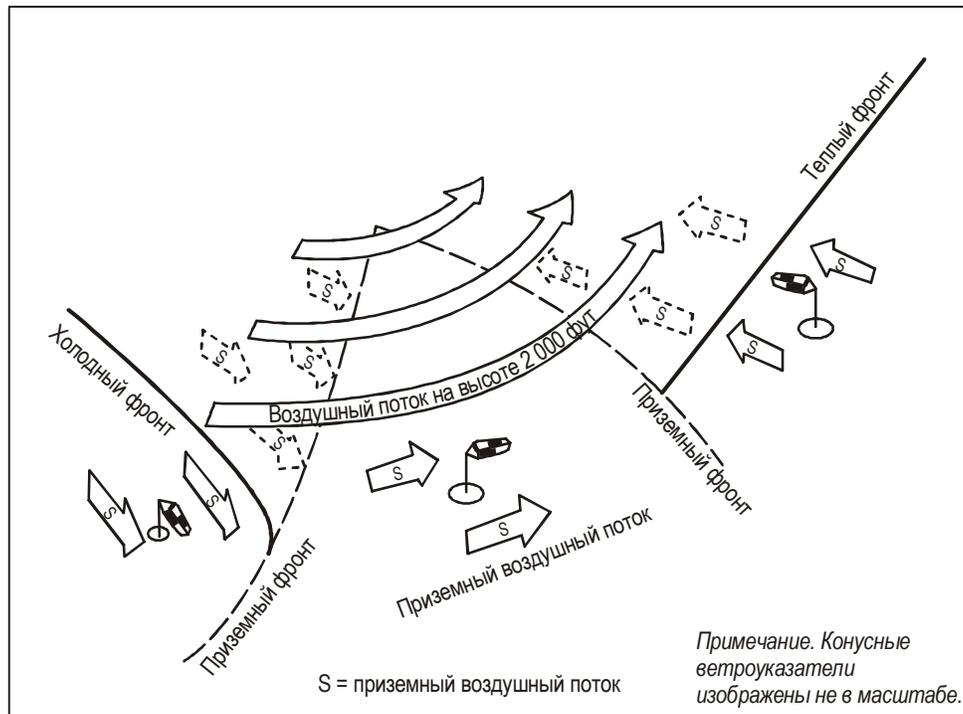


Рис. 3-5. Поперечный разрез относительных линий обтекания, перпендикулярных линии облачности при "утренней глории", 4 октября 1979 г.; составлено по данным ветра с использованием двух теодолитов (Смит и Гудфилд, 1981 г., адаптировано ИКАО)

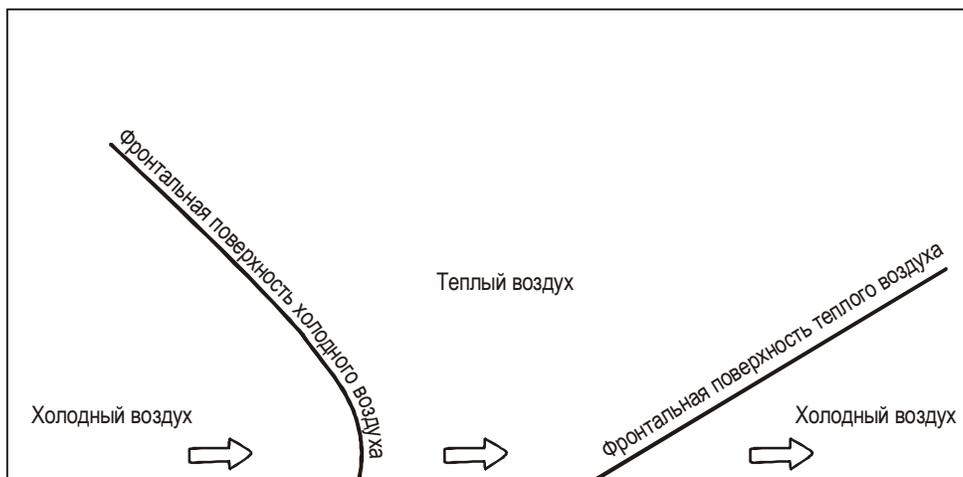
воздухом. Относительно сильные фронты с зонами резкого перехода и, соответственно, с резкими изменениями скорости ветра – это фронты, в которых более вероятен сдвиг ветра, способный воздействовать на воздушные суда.²¹ Средний уклон холодного фронта колеблется от 1/50 до 1/100, но ввиду трения о земную поверхность холодный, плотный воздух вблизи земли запаздывает, а это может привести к еще более крутым наклонам в нижних слоях атмосферы, включая образование в определенных условиях "носа", когда холодный воздух чуть выше земной поверхности опережает холодный воздух на уровне земли. Теплые фронты более пологи, их типичный уклон составляет от 1/100 до 1/300 или даже меньше до самого уровня земли. Вышеупомянутые типичные наклоны указывают на то, что, исключая очень сильные холодные фронты вблизи земли, наклон даже самого крупного фронта чаще всего бывает более пологим, чем обычный угол наклона глissады 3° (~1/20), и гораздо более пологим, чем обычные траектории первоначального набора высоты.

3.3.3 Из вышеизложенного видно, что теплый фронт имеет передний наклон по направлению своего движения, тогда как холодный фронт наклонен назад, т.е. в направлении, обратном движению (см. рис. 3-6). Для аэродрома, через который проходят фронты, это означает, что вертикальный сдвиг ветра через фронтальную поверхность имеет место:

- a) над аэродромом впереди теплого фронта, причем уровень максимального сдвига ветра опускается до уровня земли с приближением фронта;
- b) в холодном фронте и позади него, причем уровень максимального сдвига ветра поднимается над аэродромом от уровня земли вслед за прохождением холодного фронта.



- а) Трехмерная схема движения воздушных потоков в системе теплового/холодного фронта до высоты 2 000 футов в северном полушарии (вертикальный масштаб преувеличен)



- б) Схема в разрезе теплой/холодной фронтальной системы (вертикальный масштаб преувеличен)

Рис. 3-6. Фронтальные поверхности

3.3.4 На уровне земли в направлении поперек фронта наблюдается и горизонтальный сдвиг ветра, хотя при обычной скорости прохождения фронтов через аэродром он может быть скоротечен. Более важен с точки зрения авиации вертикальный сдвиг ветра поперек фронтальной поверхности над аэродромом, присутствующий впереди надвигающегося теплого фронта или позади уходящего холодного фронта. Поскольку теплый фронт обычно перемещается медленнее, чем холодный фронт, условия возникновения сдвига ветра, существующие впереди теплого фронта на поверхности земли могут оставаться в пределах аэродрома дольше, чем аналогичные условия, существующие позади холодного фронта. Рассматриваемый в данном случае сдвиг ветра связан с самой фронтальной поверхностью, а сдвиг ветра при грозах и др., который может образоваться вдоль фронта, не принимается во внимание. Воздействие фронтального вертикального сдвига ветра на воздушное судно зависит от ширины фронтальной поверхности (переходной зоны) и времени, в течение которого воздушное судно пролетает через переходную зону, а оно, в свою очередь, зависит от соотношения углов наклона траектории полета и фронтальной поверхности и от путевой скорости воздушного судна.

3.4 БЕРЕГОВОЙ/МОРСКОЙ БРИЗ

3.4.1 На участках суши, расположенных вблизи крупных водоемов, таких как моря или внутренние озера, наблюдаются заметные суточные изменения приземного ветра. Это происходит вследствие температурного градиента, который в дневное время возникает между воздухом над нагретой сушей и охлажденным воздухом над прибрежными водами, и особенно заметно при слабом преобладающем ветре на малых высотах, солнечных днях и ясных ночах. Приземный ветер дует в дневное время с воды на сушу как морской или озерный бриз, часто довольно внезапно начинающийся с утра, а в ночное время меняет направление на обратное и дует уже как береговой бриз с суши в сторону воды (см. рис. 3-7). Помимо резкого изменения направления приземного ветра, начало морского бриза часто характеризуется падением температуры и увеличением влажности. Направление морского бриза первоначально составляет прямой угол с береговой линией при скорости от 5 до 7,5 м/с (10–15 уз), хотя в тропических районах она может превышать 10 м/с (20 уз). Морской бриз намного сильнее берегового и может проникать на сушу в послеполуденные часы на расстояние до 48 км (30 м. миль), захватывая высоты до 360 м (1200 фут) над уровнем земли (AGL). Морской бриз утихает в вечерние часы по мере того, как излучающее охлаждение над сушей уменьшает температурный градиент, а перед рассветом может сменяться слабым пологим береговым бризом.

3.4.2 Морской бриз в основном представляет собой пологий холодный фронт, поскольку в нем более теплый воздух замещается более холодным, однако уклон и температурные градиенты больше напоминают свойства теплого фронта, нежели холодного.²² Сдвиг ветра в морском бризе проявляется главным образом у поверхности земли вдоль передней кромки при продвижении фронта в глубь суши, хотя сдвиг ветра меньшей величины присутствует и на большей высоте. Степень воздействия морского бриза в каком-либо конкретном месте в значительной мере определяется окружающими топографическими условиями; таким образом, он может носить сугубо локальный характер. При сильном морском бризе, проникающем в глубь суши на некоторое расстояние, начинает проявляться сила Кориолиса, и ветер в конечном итоге образует составляющую, направленную параллельно береговой линии. При максимальной силе морского бриза в предвечернее время фронт может выделяться линией конвергенции и мощной конвекции, которые при благоприятных условиях могут положить начало полосам дождя или даже гроз. В зависимости от местных топографических условий, береговой/морской бриз может порождать целый ряд мелких эффектов, таких как развитие линий конвергенции и связанных с ними гроз на суше вдоль полуострова или усиливающее воздействие "вогнутой" береговой линии на прибрежную конвергенцию при береговом бризе.

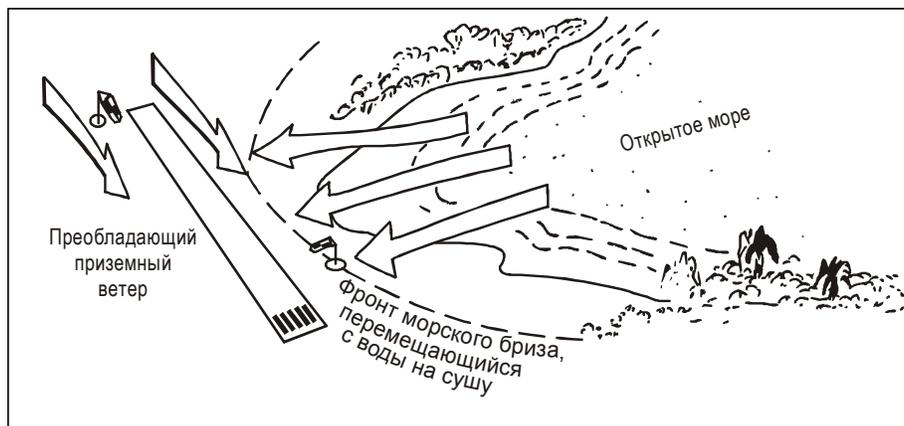


Рис. 3-7. Фронт морского бриза

3.5 ГРОЗЫ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.5.1 Грозы, вероятно, представляют собой наиболее впечатляющую повседневную демонстрацию мощи природы, которую могут наблюдать большинство людей во всем мире. Название "гроза" выступает всеобъемлющим определением, которое включает целый ряд явлений, порождаемых развитой кучево-дождевой облачностью, таких, как гром и молния, ливневый дождь, град, сильные ветры и торнадо и т. д. Большинство этих явлений представляет большую опасность для воздушных судов. Огромная энергия, высвобождаемая в процессе развития сильной грозы, может иметь величину такого же порядка, как при ядерном взрыве.

3.5.2 Вздвигающаяся масса кучево-дождевого облака, надвигающаяся в волнообразных потоках воздуха, представляет собой особо неистовую и захватывающую форму атмосферной конвекции. Когда атмосфера становится неустойчивой по какой бы то ни было причине, она подвергается конвективному переворачиванию. Распространенным примером могут быть восходящие потоки нагретого воздуха, возникающие при нагреве обращенных к солнцу склонов. При благоприятных условиях конвекция порождает области достаточно мощных местных восходящих потоков, в которых формируются кучево-дождевые облака и грозы. По традиционной классификации грозы подразделяются на следующие два вида в соответствии с источником неустойчивости:

- a) грозы в воздушной массе или тепловые грозы;
- b) фронтальные грозы.

Для гроз в воздушной массе или тепловых гроз характерны резко выраженные дневные изменения, происходящие наиболее часто после полудня и вечером над сушей из-за солнечного нагрева. Они также случаются с разной степенью случайности над участком поверхности, где воздушная масса однородна и условия единообразно благоприятны. Однако, хотя нормой является случайное развитие, не так уж много нужно для получения организационного развития внутри однородной воздушной массы. Такое явление может быть обусловлено орографическими восходящими потоками вдоль горного хребта или подъемом вдоль линии сходящихся воздушных потоков на малых высотах, например, вдоль межтропической зоны конвергенции или в спиральных

полосах конвергенции, связанных с тропическими циклонами. Фронтальные грозы происходят главным образом в связи с холодными фронтами и фронтальными депрессиями, когда необходимый подъем обеспечивается конвергенцией на малых высотах и прорезанием теплого воздуха холодным, как описано в п. 3.3.1. Грозы могут также развиваться при конвергенции на малых высотах вдоль фронтов морского бриза в полуденные часы над сушей и вдоль удаляющихся фронтов берегового бриза в предрассветные часы над морем или над большими внутренними озерами.

3.5.3 Структурный состав гроз обычно предусматривает гроздь очагов, каждый из которых выступает как единица конвективной циркуляции, объединяя как восходящие, так и нисходящие потоки. В каждом очаге происходит собственный функциональный цикл, занимающий период от 30 мин до 1 ч. Эти функциональные циклы могут соответствующим образом подразделяться на три стадии в зависимости от направления и силы преобладающего вертикального потока воздуха в очаге (см. рис. 3-8):

- кучевая стадия, характеризующаяся восходящими потоками по всему очагу;
- стадия созревания, характеризующаяся наличием как восходящих, так и нисходящих потоков;
- стадия рассеивания, характеризующаяся слабыми нисходящими потоками по всему очагу.

Развитие очага в грозовой среде может происходить различными темпами – некоторые очаги могут не завершить свой функциональный цикл, в то время как рост других очагов может ускориться за счет первых. В тех случаях, когда два очага развиваются в непосредственной близости друг от друга и один из них сильнее, часто наблюдается тенденция к слиянию очагов.²³

3.5.4 Структура воздушных потоков внутри и по периферии грозы была в общих чертах выяснена еще в 1940-е гг., а конкретнее, вслед за получившим широкую известность "Грозным проектом", осуществлявшимся в Соединенных Штатах Америки в 1946–1947 гг.²⁴, и подтверждена

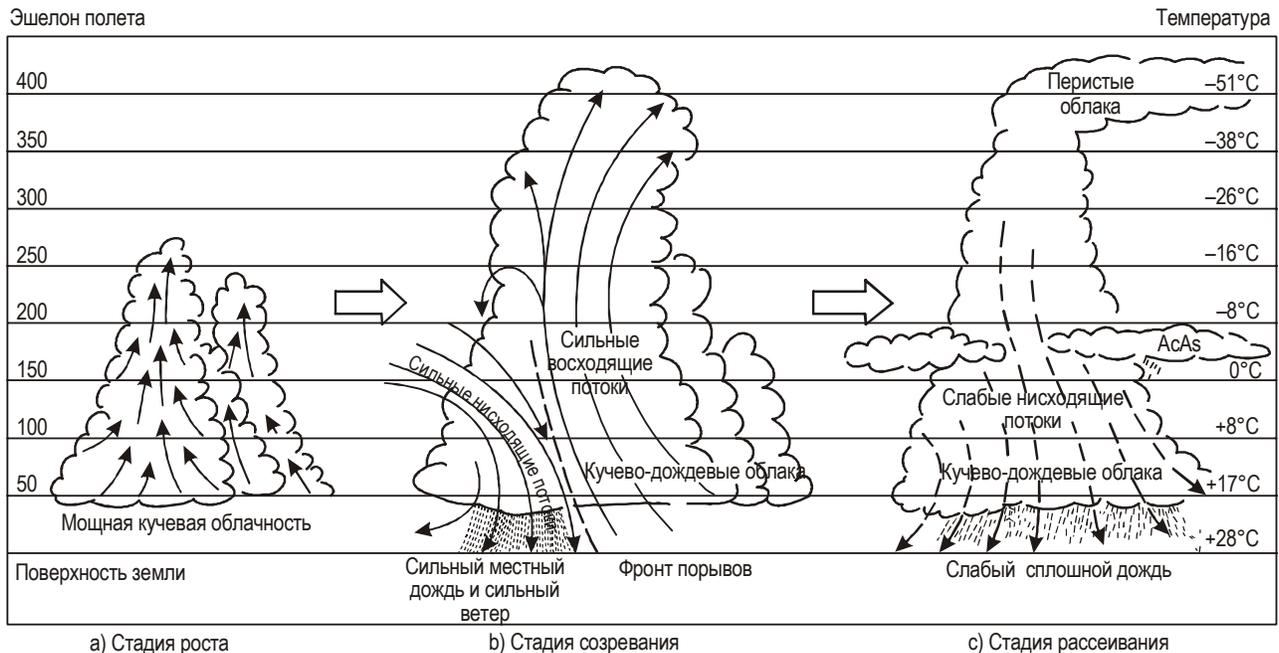


Рис. 3-8. Функциональный цикл грозы

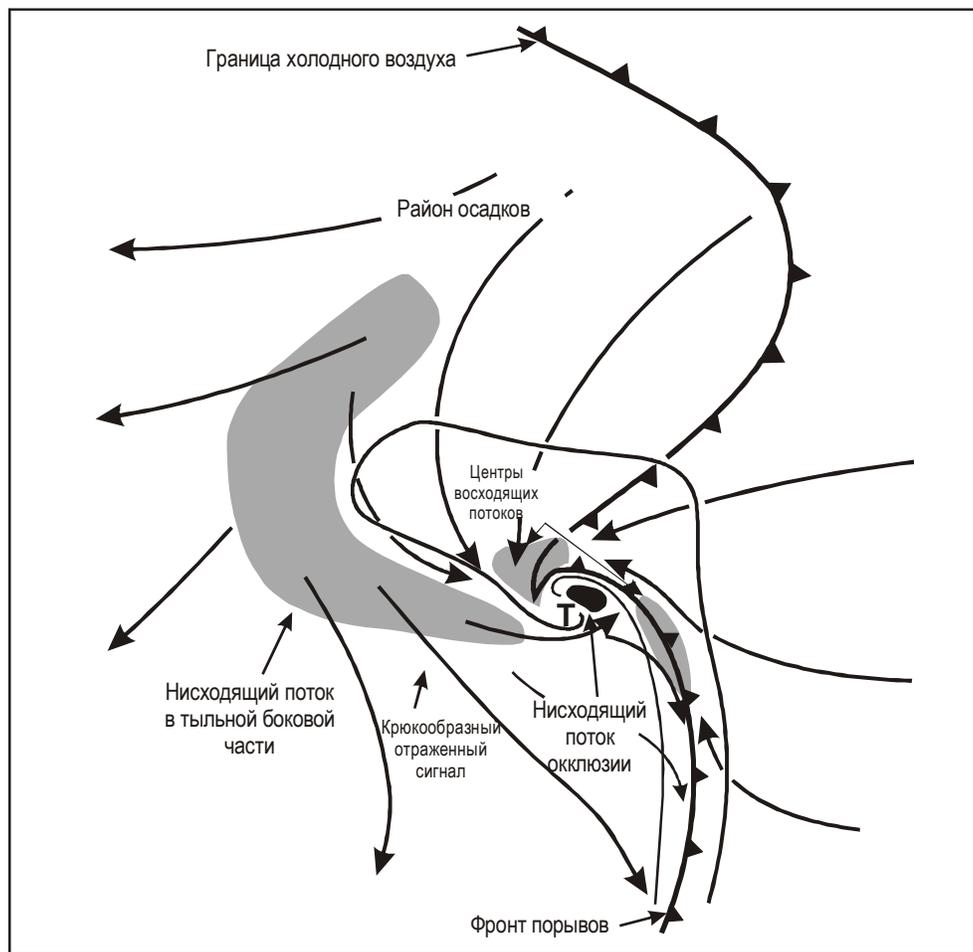


Рис. 3-9. Модель грозы, включающей торнадо; (Т) указывает местоположение торнадо (Вейсман, 1983 г.)

более поздними исследованиями. На протяжении примерно последних десяти лет применение множественных доплеровских РЛС в целях контроля воздушных потоков как при ясном небе, так и при облачности, а также имитация динамики гроз с помощью вычислительной техники²⁵ позволили исследователям проанализировать структуру воздушного потока до мельчайших подробностей (см. соответственно пп. 5.1.17–5.1.47 и рис. 3-9). Как и предполагалось, результаты показывают, что гроза представляет собой очень сложный, но вместе с тем весьма изящный и эффективный термодинамический механизм. Детальная структура зрелого грозового очага представляет собой систему хорошо организованных синергических восходящих и нисходящих воздушных потоков, которые переплетаются и взаимодействуют, наиболее эффективно эксплуатируя избыток энергии, привносимый добавочным теплом и влажностью. Тот факт, что воздушный поток внутри и по периферии зрелой грозы сосредоточивается в такие мощные воздушные течения, имеет чрезвычайно важное значение для авиации.

3.5.5 Выяснено, что очаговая структура и степень организованности очагов, демонстрируемые при грозе, часто являются отличительным признаком грозы, различимым на экране радиолокатора (особенно доплеровского), и связаны, в пределах допустимой систематизации, с интенсивностью грозовой деятельности.²⁶ В целом, чем более организованной является очаговая структура, тем

сильнее гроза. Этот признак позволяет провести более подробную классификацию гроз, чем представлялось возможным до сих пор, как это показано в таблице 3-1. Степень сформированности, достигаемой очагами грозы, которая в свою очередь говорит об интенсивности, в конечном итоге зависит от многих взаимосвязанных метеорологических факторов, включающих устойчивость атмосферы, конвергенцию и дивергенцию воздушных потоков на разных уровнях атмосферы и профиль воздушного потока по высоте. Недавние исследования показывают, что из этих факторов профиль ветра (т. е. сдвиг ветра по вертикали) и неустойчивость являются, вероятно, самыми критическими факторами, определяющими интенсивность грозы.²⁷ При достаточной атмосферной неустойчивости, конвергенции на малых высотах и влажности интенсивность грозы стремится возрасти пропорционально степени усиления ветра и изменения его направления по часовой стрелке (в северном полушарии) с увеличением высоты. С возрастанием вертикального сдвига ветра гроза по своему виду имеет тенденцию к переходу от недолговечных и беспорядочно организованных одиночных очагов к организованным множественным очагам и к сверхочаговым (единоочаговым) грозам". Однако существует естественный верхний предел, и при чрезвычайно больших значениях вертикального сдвига ветра грозовой очаг может подвергаться такому сильному сдвигу, что очаговая структура в конечном итоге распадается. По всей видимости, существует оптимальное сочетание неустойчивой атмосферы и вертикального сдвига, которое особенно благоприятно влияет на развитие сверхочаговых гроз.^{28,29,30} Как показано в таблице 3-1, такие грозы могут причинять огромный ущерб как непосредственно в виде крупного града, так и косвенно, вследствие интенсивных нисходящих порывов и торнадо, порождаемых этими грозами (см. пп. 3.5.23–3.5.27).

3.5.6 Области местных восходящих потоков воздуха, от которых зависит начало развития грозы, генерируются и поддерживаются любым или всеми источниками, включая нагрев земной поверхности, конвергенцию воздушных потоков на малых высотах и фронтальный или орографический подъем и т. д. Высота, достигаемая восходящими потоками, и образование облачности зависят главным образом от устойчивости атмосферы, ее влажности и профиля атмосферного ветра. В развивающемся грозовом очаге по мере подъема восходящих потоков выше нижней границы облачности капельки воды в облаке увеличиваются в результате слияния и конденсации и начинают замерзать, пока не становятся настолько тяжелыми, что падают обратно сквозь восходящий поток и еще больше тяжелеют, захватывая новые водяные капли, поднимающиеся вверх. Так зарождаются нисходящие воздушные течения, которые на этой стадии движутся ускоренно под действием тяготения. Однако по мере достижения нижних слоев к нисходящим потокам присоединяется более сухой воздух, окружающий облако снаружи, особенно из района высоты замерзания, вызывающий испарение опускающихся вниз капель, что быстро охлаждает окружающий воздух и тем самым еще более ускоряет нисходящий поток.³¹

3.5.7 Эти водяные капли в нисходящем потоке, не испарившиеся полностью, выпадают из нижней кромки кучево-дождевого облака в виде сильного местного дождя, сопровождающегося сильным, порывистым ветром от нисходящего течения холодного воздуха. Нисходящие воздушные потоки, которые достаточно сильны, чтобы проникнуть за нижнюю кромку облаков, растекаются горизонтально во всех направлениях, немного не доходя до поверхности земли в виде холодного потока, передняя кромка которого напоминает пологий холодный фронт, обычно называемый "фронтом порывов". Достигающие земли нисходящие потоки не всегда сопровождаются сильным дождем, хотя такие дожди обычно выпадают. Даже когда опускающиеся вниз водяные капли полностью испаряются в облаке или в воздухе чуть ниже нижней границы облачности в виде свисающих из облаков столбов дождя ("вирга"), связанный с этим нисходящий поток может все же проникнуть за нижнюю границу облачности и достичь уровня земли. Восходящие и нисходящие потоки, особенно связанные с сильными грозами, имеют огромное значение для авиации и подробно рассматриваются в последующих разделах настоящей главы.

Таблица 3-1. Классификация гроз

	Вид грозы			
	В воздушной массе		Фронтальные	
Очаговая структура	Беспорядочно организованная	Организованная многоочаговая	Организованная многоочаговая	Высокоорганизованная единоочаговая
Интенсивность	Умеренная	От умеренной до сильной	Сильная	От сильной до очень сильной
Опасные явления, часто сопровождающие грозу и требующие особого внимания при посадке или взлете воздушных судов	Местные сильные порывы ветра, возможны, но редки нисходящие потоки, водяные смерчи над большими водными пространствами, местный град	Фронт порывов, резкие нисходящие потоки, водяные смерчи над большими водными пространствами, местный град	Фронт порывов, нисходящие порывы, микропорывы, водяные смерчи, над большими водными пространствами, град, торнадо	Фронт порывов, нисходящие порывы и микропорывы, групповые торнадо, обширный град
Примеры	Случайное развитие воздушной массы, как правило над морскими/океаническими районами, или локальное развитие вблизи гор и т. д.	Часто организованы в линии, особенно в тропиках (линии шквалов). Линии в тропических циклонах	Главным образом фронтальные внетропические. Могут быть организованы в линии или мезомасштабные группы	Главным образом фронтальные в континентальных среднеширотных районах. "Сверхочаговые" грозы
Движение	Как правило, вместе со средним потоком. Может быть в основном неподвижной при развитии вблизи гор	Вместе со средним потоком, но может происходить последовательное развитие очагов на одном благоприятном фланге, создавая впечатление движения в том направлении	Совпадает с движением фронта, образование новых очагов у фронтов порывов, особенно между существующими очагами	Чаще всего вправо от среднего потока (временами распадается на две грозы). Изредка остается неподвижной, производя большие и местные разрушения

ФРОНТ ПОРЫВОВ

3.5.8 Несмотря на то что общее воздействие фронта порывов известно метеорологам и пилотам с давних пор, а сам термин применяется уже по крайней мере с начала 1960-х гг., подробная информация о его структуре была накоплена сравнительно недавно.³² Фронт порывов – это передняя кромка холодного, плотного воздуха из грозовых нисходящих потоков, который достигает земли и распространяется во всех направлениях, подрезая более теплый, менее плотный окружающий воздух (см. рис. 3-10). В этом отношении он напоминает пологий холодный фронт, за исключением того, что характерные скорости ветра, сдвиг ветра и турбулентность фронта порывов обычно намного выше; вначале фронт порывов продвигается вдоль земной поверхности равномерно во всех направлениях, однако, если движется сам грозовой очаг, как это обычно и бывает, фронт порывов движется с опережением грозы в направлении ее перемещения (см. рис. 3-11). Этот эффект может быть усилен, если холодный нисходящий поток ударяет в землю не вертикально, а под углом, как это часто происходит, способствуя тем самым тому, что холодному течению придается определенное направление. Вслед за прохождением передней кромки фронта отмечается заметный горизонтальный сдвиг ветра на уровне земли, и, поскольку фронт может двигаться впереди исходного грозового очага на удалении до 20 км (12 м. миль), такое внезапное изменение приземного ветра может застать пилотов врасплох. Изменение направления приземного ветра часто достигает 180°, а скорость порывов ветра после прохождения фронта может превышать 25 м/с (50 уз).

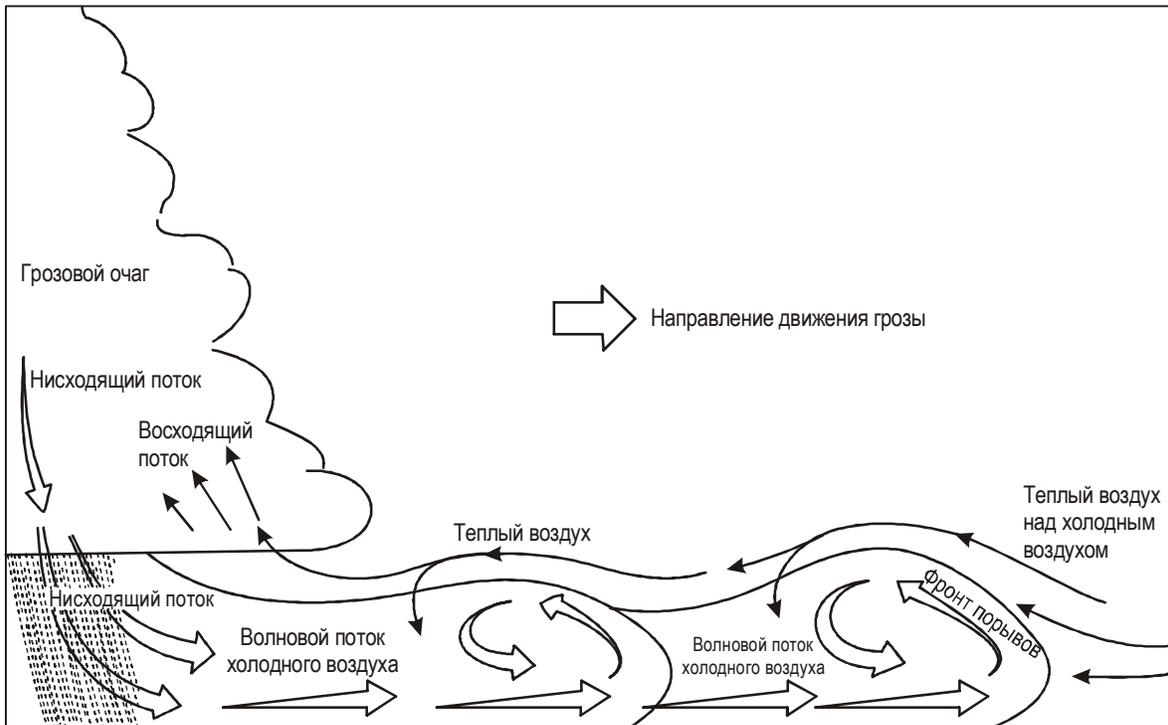


Рис. 3-10. Типичный фронт порывов в разрезе
(из плаката ИКАО № Р621 "Турбулентность и сдвиг ветра в фронте порывов")

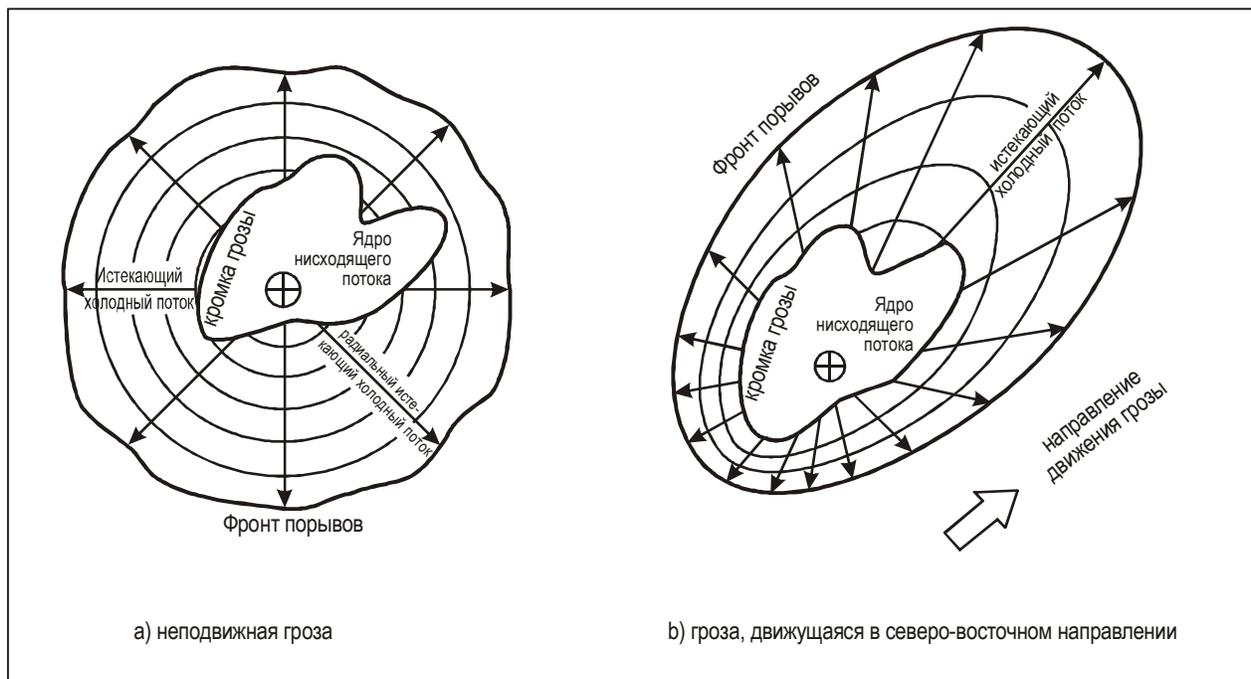


Рис. 3-11. Типичные фронты порывов в плане

3.5.9 Грозы часто развиваются по организованным линиям, особенно в тропиках, и фронты порывов, образующиеся при таких линиях шквалов, бывают более долговечными и движутся намного быстрее и на большем удалении от исходных гроз (до 35 км (22 м. мили)), чем фронты, образованные одиночными грозами. Чрезвычайно четко организованные линии шквалов представляют типичное явление для сезона дождей по всей Западной Африке.³³ Глубина холодного воздуха во фронте порывов может достигать 1000 м (3300 фут), и по разделяющей поверхности между холодным и теплым воздухом может наблюдаться вертикальный сдвиг ветра. Как и в случае с холодным фронтом, трение замедляет скорость холодного воздуха вблизи земли, что позволяет холодному воздуху на высоте около 200 м (600 фут) над уровнем земли (AGL) вырваться вперед, образуя "нос". Внутри этого "носа" возникают циркуляции или завихрения, в центре и в следе которых сдвиг ветра и турбулентность особенно сильны. Очаг может порождать множественные нисходящие воздушные потоки и связанные с ними волновые потоки холодного воздуха, каждый из которых образует "нос" и следует за своим предшественником.

3.5.10 Хотя фронты порывов обычно формируются и перемещаются при ясном небе в отсутствие видимых признаков их развития и движения, перекрывающий теплый воздух, если он достаточно влажен, иногда создает линию гладкой, сверкающей шквалистой облачности поверх "носа" фронта порывов, которая, опоясывая основание грозы и продвигаясь впереди пояса дождя, всегда выглядит особенно турбулентной и угрожающей. В некоторых районах нисходящие потоки, особенно вихри внутри "носа" фронта порывов поднимают в воздух пыль или песок, образуя эффектно выглядящую движущуюся стену из песка. Эти явления хорошо известны в Судане под названием "хабуб" и на северо-западе Индии под названием "андхи".³⁴ В некоторых случаях наблюдались фронты порывов, выглядевшие на экранах наземных метеолокаторов как тонкие, но четкие линии или дуги (иногда называемые "ангелами"), а на изображениях, полученных со спутников, прослеживались линии шквалов. Наилучшим способом обнаружения фронтов порывов может считаться использование доплеровской РЛС, однако для обеспечения эффективности этого метода необходимы автоматизированные средства обнаружения.

НИСХОДЯЩИЙ ПОРЫВ

3.5.11 Пояснения к процессу образования сильных нисходящих потоков в зрелых очагах грозы, приводившиеся в пп. 3.5.6 и 3.5.7, в достаточной степени основывались на большинстве наблюдавшихся фактически явлений, связанных с нисходящими потоками и фронтами порывов, однако были выявлены по крайней мере два явления, удовлетворительное объяснение которых найдено не было. Первое заключается в том, что временами очень сильный местный дождь при грозе почти не сопровождается нисходящими потоками, достигающими земли, и отсутствует сильный, порывистый приземный ветер. Второе явление намного важнее, поскольку оно представляет другую крайность: иногда скорость нисходящих воздушных потоков, наблюдавшаяся и выведенная по оценкам повреждения деревьев, достигала чрезвычайно больших значений, тогда как интенсивность сопутствующего дождя выглядит не выше, чем при обычных нисходящих потоках.

3.5.12 Подробное обследование повреждений, нанесенных ветром при грозе, показывающее направление, в котором ветер валит деревья, кукурузу, пшеницу и т. д., использовалось Фаустом в 1947 г. По данным этих обследований, он мог вывести характеристики и интенсивность соответствующего ветра. Ту же методику применял Фудзита, который при изучении особенно сильной серии торнадо в 1974 г., отмечал, что "на некотором удалении от пути прохождения торнадо деревья в лесу были повалены в радиальных направлениях, как если бы они обдувались из центра наружу. Предположительно эти деревья были наклонены или повалены сильным ветром, который дул во внешнюю сторону от центра выброса" (см. рис. 3-12).³⁵ Байерс и Фудзита (1976) классифицировали такой сильный нисходящий поток как "нисходящий порыв" и определили его как "местные сильные нисходящие потоки воздуха с вертикальными течениями, скорость которых



Рис. 3-12. Свыше 300 деревьев было повалено в результате сильного воздушного выброса недалеко от Беркли в Западной Виргинии (Соединенные Штаты Америки). Аналогичное положение деревьев было сфотографировано автором в различных местах вдоль пути следования торнадообразующих гроз 3 апреля 1974 г., в день небывало сильной серии торнадо (Фудзита, 1976 г.)

превышает 3,6 м/с или 720 фут/мин на высоте 90 м (300 фут) над земной поверхностью".³⁵ К 1978 г. Фудзита обобщил это определение как: "Сильный нисходящий воздушный поток, вызывающий направленный во внешнюю сторону выброс разрушительных ветров на земле или вблизи земли". Из масштабов повреждения деревьев в результате таких нисходящих порывов стало ясно, что очень сильные ветры могут достигать уровня земли и что поражаемая площадь сравнительно невелика, фактически настолько мала, что обычные штатные системы наблюдения такие ветры совершенно не регистрируют.

3.5.13 Был предложен ряд разъяснений в отношении заметных различий (например, в скорости нисходящего и восходящего во внешнюю сторону потоков) между обычным нисходящим потоком при грозе, описанным в пп. 3.5.6 и 3.5.7, и нисходящим порывом, природу которого предположил, а затем убедительно сформулировал Фудзита.^f В качестве одного из крайних вариантов нисходящий порыв рассматривается как "нисходящий сверхпоток", зарождающийся при грозе на очень больших высотах, а в качестве другой крайней версии указывается, что нисходящий порыв зарождается в средних слоях атмосферы. Последнее разъяснение согласуется с результатами наблюдений и моделирования так называемых "сверхочаговых гроз" (см. п. 3.5.28). Представляет интерес

f. Всесторонний обзор накопленной информации по вопросу о нисходящем порыве по состоянию на 1985 г. приводится в книге Фудзита "Нисходящий порыв" (см. библиографию).

сравнительный обзор различных разъяснений, представленный Вулфсоном,³⁶ который пришел к заключению о том, что хотя все разъяснения правдоподобны, тем не менее до сих пор никем не было доказано, что хотя бы один из предполагаемых механизмов фактически является причиной нисходящих порывов.

3.5.14 Опасная природа нисходящих порывов привлекла пристальное внимание в авиационной среде после авиационного происшествия 24 июня 1975 г. в нью-йоркском аэропорту JFK с самолетом "Боинг-727" авиакомпании "Истерн эрлайнз", выполнявшим рейс № 66. Д-р Фудзита подготовил детальный анализ грозовой деятельности над аэропортом во время этого происшествия. Исходя из наличия серии нисходящих порывов, он выделил сценарий, объясняющий последовательность событий в тот роковой день. Он заключил, что "результаты исследований и размышления по поводу явлений, описанных в данном документе, предполагают наличие очагов нисходящих порывов в отдельных грозах. Эти очаги должны, вероятно, характеризоваться копьевидными отраженными (радиолокационными) сигналами, что представляет собой новое определение, вводимое в настоящем документе. Около 2% отраженных сигналов в зоне Нью-Йорка – главной области настоящего исследования – были копьевидными сигналами."³⁵

МИКРОПОРЫВ

3.5.15 При рассмотрении характера повреждений, наносимых нисходящими порывами, выяснилось, что в основном поле нисходящего порыва обнаруживались меньшие по размеру, но еще более интенсивные нисходящие порывы. Эти мелкие, но очень интенсивные нисходящие порывы были названы Фудзитой "микрорывами" и определены как "нисходящие потоки, приводящие к внезапному истечению горизонтального ветра разрушительной силы с горизонтальной протяженностью по поверхности от 0,4 до 4 км".³⁷ Малый масштаб действия микрорыва как во времени, так и в пространстве делает почти невозможным его обнаружение существующими системами наблюдения. К сожалению, именно такой масштаб представляется наиболее важным с авиационной точки зрения, что придает исследованиям в области динамики гроз срочный характер. Микрорывы могут быть одиночными или объединяться в "семейства", могут сопровождаться или не сопровождаться дождем, и, хотя зачастую они связаны с сильными грозами, могут зарождаться в любой конвективной облачности.

3.5.16 В целях дальнейшей активизации исследований в 1978 г. Чикагским университетом совместно с Национальной метеорологической службой Соединенных Штатов Америки был разработан двухлетний проект сбора данных, который получил название "NIMROD" (Метеорологические исследования в области нисходящих порывов в Северном Иллинойсе).³⁷ В этот период было подтверждено существование нисходящего порыва как явления и были получены первые результаты измерений воздушного потока внутри микрорывов при помощи доплеровской РЛС, однако по причине разнесенности трех использовавшихся РЛС удалось проанализировать данные только от одной РЛС.⁹ Следующей целью было получение данных о фактическом ветре внутри и около нисходящих порывов/микрорывов путем использования, помимо прочего, множественных доплеровских РЛС, расположенных достаточно близко, чтобы измерить воздушный поток в трехмерном пространстве. Для этого в международном аэропорту Степлтон (Денвер, штат Колорадо, Соединенные Штаты Америки) был осуществлен совместный проект исследований погоды в аэропортах (JAWS) на 1982–1984 гг.³⁸ Этим проектом предусматривалось использование внушительного комплекса средств наблюдения в дополнение к обычной сети наблюдения, включая три доплеровские РЛС, расположенные в пределах 30 км одна от другой, переносную

g. Как поясняется в главе 5, чтобы измерить дистанционно все три составляющие фактического ветра при помощи доплеровской РЛС, один и тот же объем атмосферы должен одновременно наблюдаться по меньшей мере двумя РЛС. Одиночная РЛС просто выдает данные о скорости радиального движения воздуха относительно РЛС.

автоматизированную систему мезосети наблюдения (PAM), комплекс из трех станций запуска радиозондов, самолеты с измерительной аппаратурой и т. д. Этап наблюдения и сбора данных проводился летом 1982 г., за ним последовал этап обобщения и анализа данных в 1983–1984 гг. И хотя в будущем анализ будет продолжаться с целью более углубленного изучения данных, полученные результаты подтвердили существование и силу нисходящих порывов и микропорывов. В то же время нисходящий порыв/микропорыв является гораздо более сложным явлением, чем предполагалось вначале. Например, есть признаки, свидетельствующие о наличии внутри микропорывов еще более мелких и более интенсивных структур. Они могут образовывать вытянутую и узкую область поражения в пределах всеохватывающего течения, во многом сходную с областью поражения торнадо. Для описания этих структур Фудзита ввел термин "прокос порывами".

3.5.17 В "сети" наблюдения по проектам NIMROD и JAWS не менее 236 "рыб" – микропорывов; их суточная частота на протяжении работ по проектам показана на рис. 3-13. Частота микропорывов, создающих выбранную максимальную разность скорости приземного ветра, измеренную в 186 микропорывах по проекту JAWS, приводится на рис. 3-14. "Сухие" микропорывы составили 36% и 83% из числа микропорывов, наблюдавшихся соответственно по проектам NIMROD и JAWS.³⁹ Процент "сухих" микропорывов оказался неожиданно высоким, хотя для климата данного района характерны грозы в облаках с высокой нижней кромкой, развивающиеся в условиях сравнительно "сухого" воздуха в высоких слоях атмосферы. В районах с более влажным климатом, например на юго-востоке Соединенных Штатов Америки, микропорывы в большинстве представляют "влажную" разновидность. Пример поля ветра, связанного с одним микропорывом по проекту JAWS, приведен на рис. 3-15,⁴⁰ где указывается возможное существование кольца вихрей вокруг микропорыва, чем объясняется быстрое нарастание силы нисходящего потока и обосновывается его концентрированный и местный характер. Было высказано предположение, что серия таких вихревых колец может быть образована, как показано на рис. 3-16.^{41,42} Вероятная последовательность и масштаб событий в процессе развития микропорыва согласно анализу данных по проекту JAWS показаны на рис. 3-17.⁴³

3.5.18 Микропорыв скоротечен и обычно достигает максимальной силы в пределах 10 мин. Как прямое продолжение деятельности в рамках проекта JAWS и практическое применение его результатов, Национальным центром США по исследованию атмосферы (NCAR) и ФАУ была проведена программа исследований под названием CLAWS (классификация, определение местонахождения, избежание сдвига ветра), направленная на повышение безопасности полетов. Программа CLAWS была ориентирована на обнаружение и прогнозирование микропорывов в денверском аэропорту "Степлтон" с целью обеспечения пилотов и органов обслуживания воздушного движения (ОВД) консультативными прогнозами сдвига ветра в реальном масштабе времени и разработки необходимых эксплуатационных правил.⁴⁴ В ходе осуществления проекта (с 2 июля по 15 августа 1984 г., с 11:00 до 20:00 местного времени) были выданы следующие консультативные данные:

Консультативные сообщения о микропорыве	30
Консультативные сообщения о линии микропорывов	5
Консультативные сообщения о сдвиге ветра (или о фронте порывов)	32
Консультативные сообщения о торнадо	1

3.5.19 Консультативные сообщения службе УВД в отношении случаев изменения направления ветра на ВПП оказывали помощь диспетчерам при выборе нужной ВПП для взлета или посадки. Первоначальный анализ проекта по Маккарти и Вильсону (1985)⁴⁵ сводился к следующему:

- а) была наглядно продемонстрирована способность доплеровской РЛС заблаговременно предупредить о наличии микропорывов и сдвигов ветра;

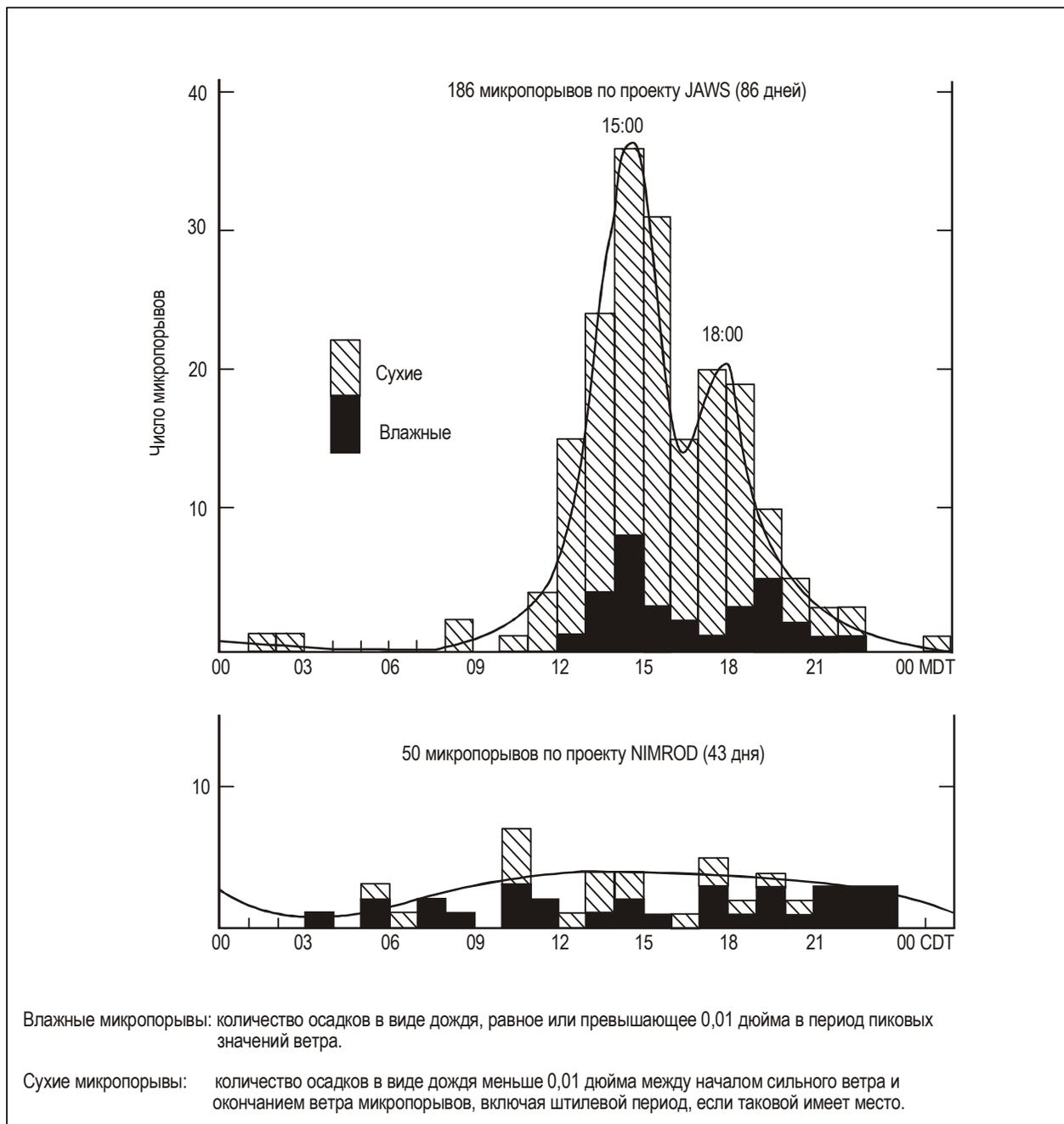


Рис. 3-13. Суточные изменения приземных микропорывов всех степеней интенсивности, измеренные на 27 станциях РАО
(Фудзита и Вахимото, 1983 г., адаптировано ИКАО)

- b) пилоты отдали явное предпочтение точным количественным расчетам фактического значения сдвига ветра на ВПП в направлении захода на посадку/вылета вместо не очень качественного обозначения местонахождений микропорывов;
- c) область предупреждения авиации о микропорывах может быть намного сужена вплоть до района непосредственного выполнения заходов на посадку/вылетов воздушных судов.

3.5.20 ФАУ представило доклад об эксплуатационных аспектах данного проекта.⁴⁵ В докладе сделан вывод о том, что исследование по проекту предоставили ФАУ возможность и опыт произвести оценку эксплуатационных преимуществ, обеспечиваемых использованием на АДП двух очень простых радиолокационных функций доплеровской РЛС, а именно, консультативных данных о микропорывах и фронтах порывов. Их полезность была продемонстрирована в аэропорту Степлтон. В результате исследований по этому проекту был также накоплен некоторый опыт эксплуатационного использования этих функций.

3.5.21 Помимо продолжающегося анализа массы данных, собранных в процессе выполнения проекта JAWS, были проведены дальнейшие исследования в области микропорывов в рамках проекта "MIST" (микропорывы и сильные грозы). Этот проект осуществлялся совместно НАСА, Чикагским университетом и Центром космических полетов имени Маршалла в Соединенных Штатах

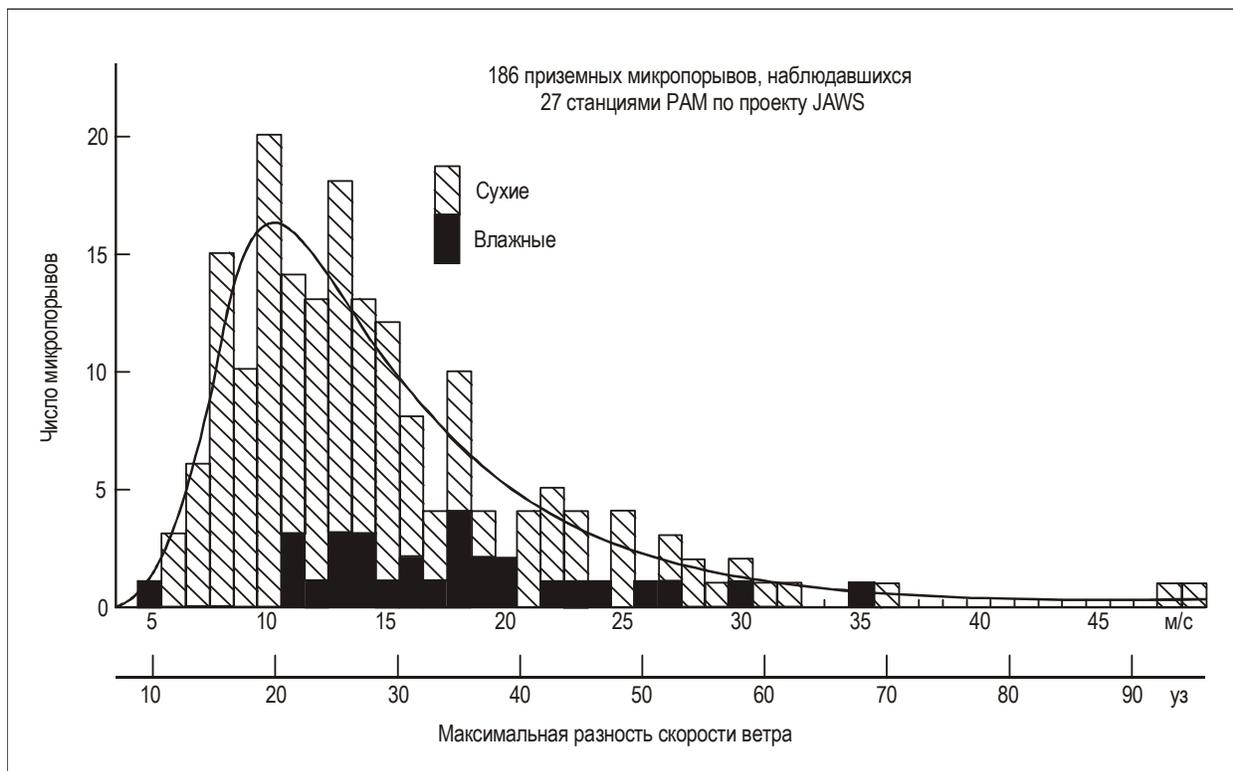


Рис. 3-14. Частота приземных микропорывов как функция максимальной разности скорости ветра, измеренной на 27 станциях PAM (Фудзита и Вахимото, 1983 г.)

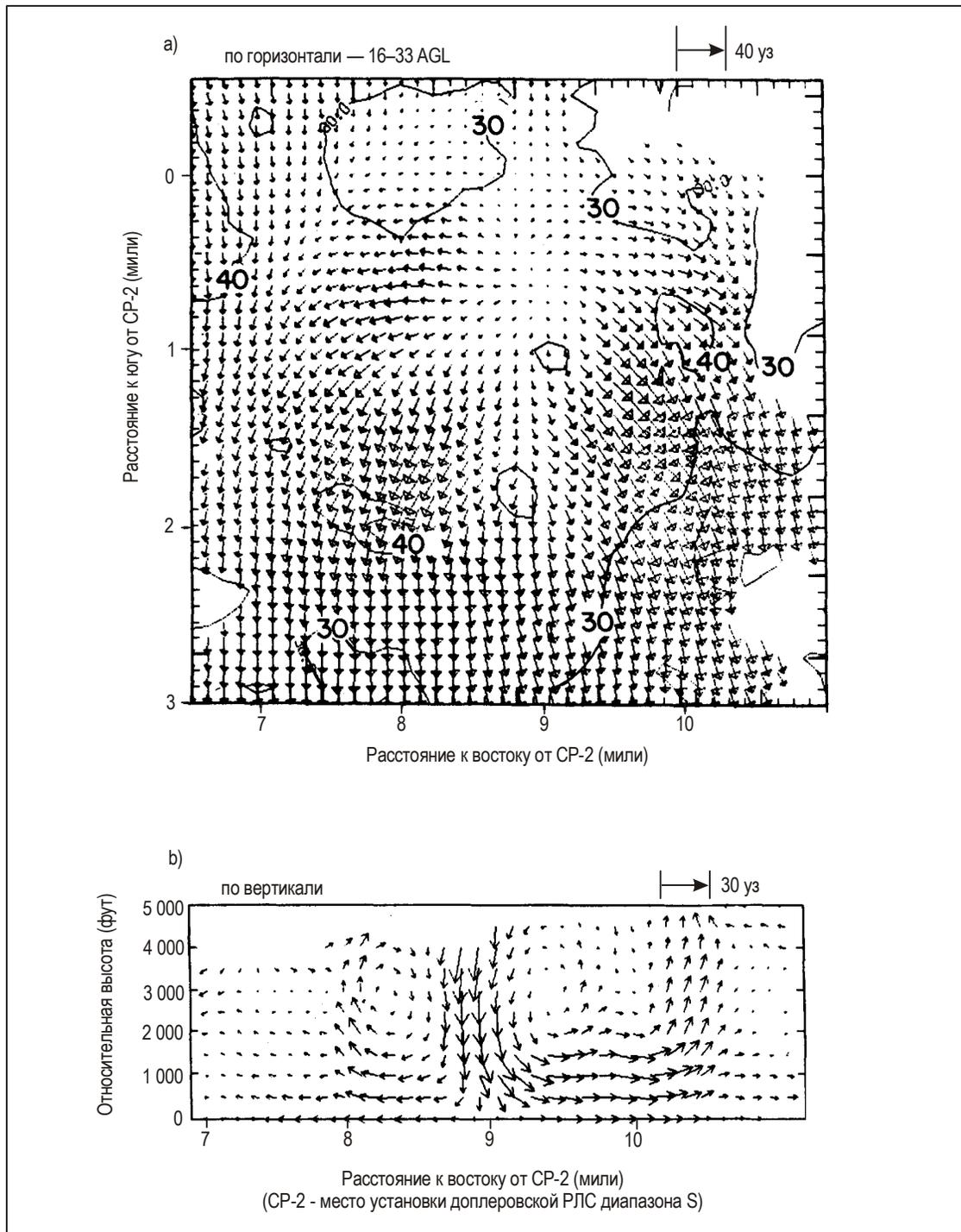
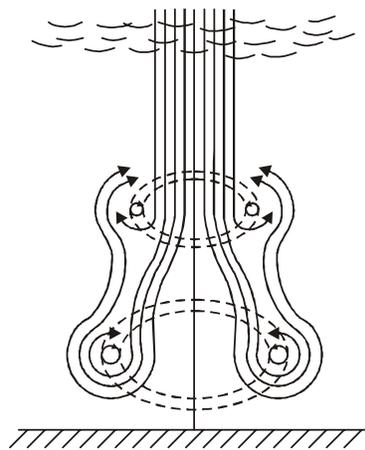
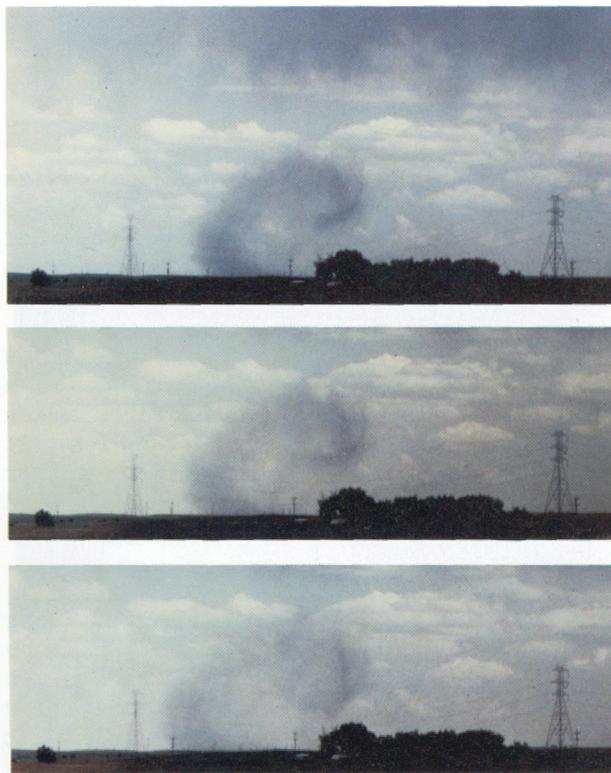


Рис. 3-15. Поля скоростей относительно земли по результатам анализа микропорыва, имевшего место 14 июля 1982 г. в 1452 MDT. Кривые представляют коэффициенты отражения РЛС (dBZ_e)
(Вильсон и Робертс, 1983 г., адаптировано ИКАО)



а) Нисходящий порыв при грозе. Модель потока в вихревом кольце (Вудвилд и Воган, 1984 г. по Карасене).



б) Циркуляция в вихревом кольце, связанная с передней кромкой микропорыва (Т.Фудзита и Б.Смит, Чикагский университет, 1983г.).

Рис. 3-16. Вихревое кольцо

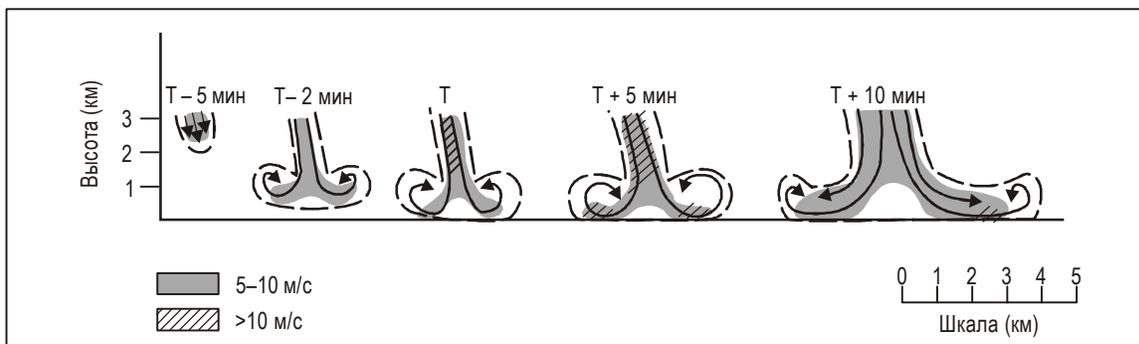


Рис. 3-17. Вертикальный разрез развития поля ветра, относящегося к микропорыву;
T – время начальной дивергенции у земной поверхности.
Штриховкой обозначены векторные скорости
(Вильсон, Робертс, Кессинджер и Маккарти, 1984 г.)

Америки. В нем использовалось до 5 множественных установок доплеровских РЛС, 55 станций наблюдения РАМ, а также радиозонды, которые в грозовые дни запускались ежечасно.

3.5.22 Вышеуказанные и другие исследовательские проекты, а также продолжающиеся анализы авиационных происшествий/инцидентов, в которых сдвиг ветра сыграл определенную роль, полностью подтвердили реальность фронтов порывов, нисходящих порывов и микропорывов и их серьезную опасность для воздушных судов в полете. Поэтому последующие усилия, предпринятые в 1990-х гг., были направлены на обнаружения вызванного этими явлениями сдвига ветра с помощью наземных дистанционных датчиков и бортового оборудования для обнаружения сдвига ветра/предупреждения о сдвиге ветра, а также на своевременное оповещение пилотов. Успешные результаты этих усилий описаны в главе 5.

ТОРНАДО

3.5.23 Хотя микропорывы порождают сильные и опасные ветры, тем не менее самые сильные приземные ветры порождаются торнадо. Во многих отношениях торнадо является противоположностью микропорыва. Он образуется от чрезвычайно концентрированной системы низкого давления, являясь вихрем, который буквально всасывает окружающий воздух, в то время как микропорыв представляет собой локализованную систему высокого давления, в которой ветры на малых высотах расходятся от его центра. Обобщенные структуры и масштабы различных систем давления, порождающих сильные приземные ветры, их классификация в рамках общепринятых земных масштабов и предполагаемые максимальные скорости ветра, как это представляет Фудзита (1981), показаны на рис. 3-18.⁴⁶ На этом рисунке максимальные скорости ветра также приведены к "шкале F", которая основывается на масштабах ущерба, нанесенного ветром в подразделении на 6 классов его скорости от F0 (17,5–31 м/с (35–62 уз)) до F5 (113,5–138 м/с (227–276 уз)).

3.5.24 Торнадо образуется в концентрированных и устойчивых восходящих потоках при сильных грозах. Такие грозы обычно принадлежат к тому же виду, что и грозы, порождающие микропорывы, однако торнадо образуются в восходящих потоках, а микропорывы и фронты порывов – в нисходящих. Конечно, этим вопрос далеко не исчерпывается, поскольку при сильных грозах не всегда образуются торнадо. Одним из наиболее важных для метеорологов-исследователей по-прежнему является вопрос о том, почему одни сильные грозы порождают торнадо, а другие нет. Сноу⁴⁷ дает следующее удачное определение торнадо: "Торнадо – это вихрь: воздух вращается

вокруг вертикальной оси торнадо почти так же быстро, как и движется к оси и вдоль нее (вверх). Втягиваемый сильно пониженным атмосферным давлением в центральном ядре, воздух течет в основание вихря со всех направлений сквозь пологий слой глубиной в несколько десятков метров вблизи земли. У основания воздух резко завивается в спираль, направленную вверх и вокруг ядра, и, наконец, сливается в скрытой верхней оконечности торнадо с воздушным потоком исходного облака. Давление в ядре может быть ниже окружающего атмосферного на целых 10 %; это почти такая же разница, как и между уровнем моря и высотой 1 км (3300 фут). Ветры в торнадо почти всегда циклонические". Сама разрушительная мощь торнадо является результатом того, что часть громадного количества энергии, заключенной в сильной грозе, концентрируется на площади, обычно не превышающей в диаметре несколько сотен метров. Наибольшая скорость ветра, измеренная при торнадо, составляла $130,5 \text{ м/с} \pm 4 \text{ м/с}$ ($261 \text{ уз} \pm 9 \text{ уз}$); замеры выполнялись 3 мая 1999 года сотрудниками Оклахомского университета в Бриджкрике (Оклахома) с помощью передвижных доплеровских метеорологических радиолокаторов.⁴⁸ При таком мгновенном измерении определяется скорость отражающей частицы на расстоянии 32 м в отличие от замеров, выполняемых с помощью обычного анемометра, в ходе которых определяется средняя за 3 с скорость молекулы воздуха на расстоянии в 10 м. Результаты радиолокационных измерений изменяются в диапазоне $\pm 4 \text{ м/с}$ (9 уз).^{49,50}

3.5.25 Большинство (и все сильные) торнадо образуются внутри "мезоциклонов"^h, которые часто ассоциируются с сообщениями о сильном граде и разрушительных нисходящих порывах (см. рис. 3-18 а).²⁹ Поскольку не все мезоциклоны образуют торнадо, присутствие мезоциклона является, несомненно, необходимым, но недостаточным условием для возникновения торнадо.

3.5.26 Результаты анализа ущерба, причиненного ветром при торнадо, свидетельствуют о наличии интенсивных организованных "всасывающих вихрей" внутри исходного торнадо (масштаб вихрей показан на рис. 3-18 а)). Предложенная Фудзитой модель такого торнадо⁴⁶ показана на рис. 3-19. Зачастую торнадо вначале наблюдается как "воронкообразное облако", свисающее из исходного грозового облака. Обычно воронкообразное облако имеет форму конуса, но может принимать многие другие формы, включая удлинённую форму, напоминающую вытянутую веревку. Торнадо, образующиеся над водой, принимают форму "водяного смерча" и происходят во всем мире гораздо чаще, чем торнадо над сушей.⁵¹

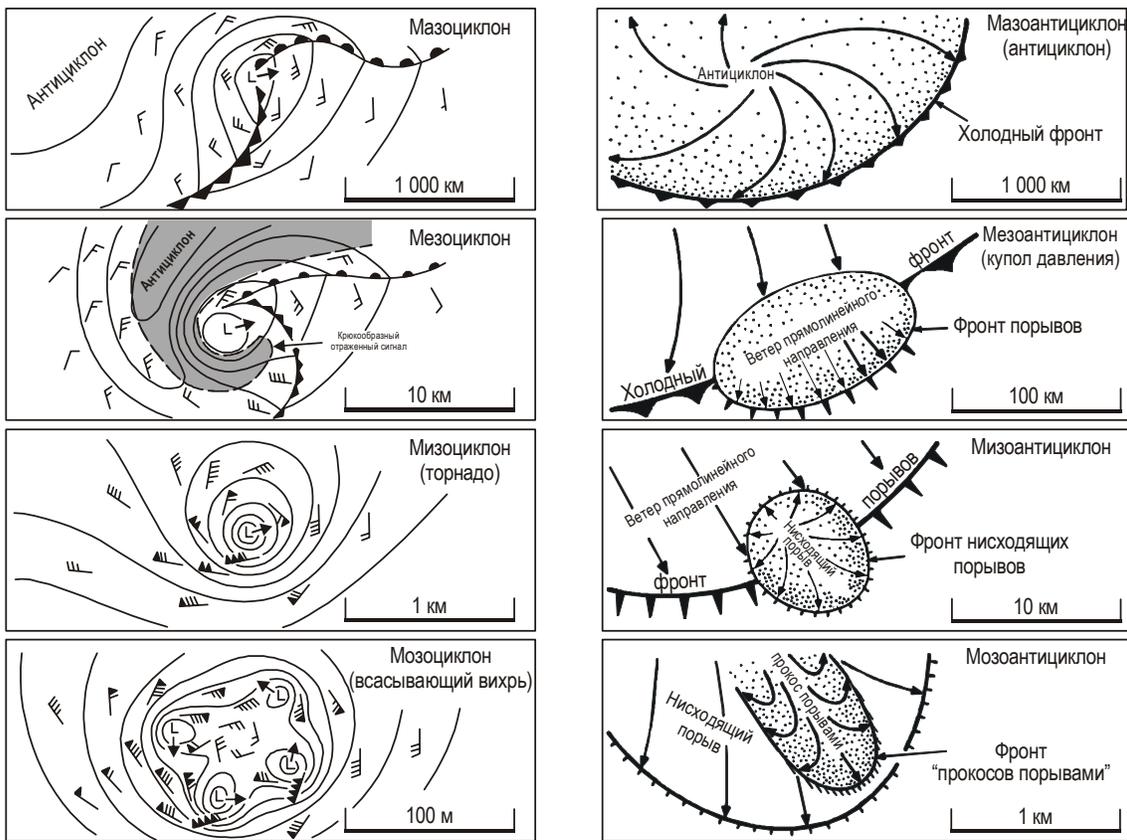
3.5.27 Очевидно, что торнадо представляют собой экстремальный вариант сдвига ветра и опасны для выполняющих посадку и взлетающих воздушных судов. Такую опасность может до некоторой степени смягчить тот факт, что:

- a) торнадо обычно видимы и можно ожидать, что воздушные суда смогут обходить их при помощи маневра;
- b) хотя сообщения о торнадо поступают из многих районов мира, чаще всего они случаются в центральном и юго-восточном районах Соединенных Штатов Америки; таким образом, в этих районах они представляют собой "знакомую опасность".

Нельзя недооценивать ту опасность, которую торнадо представляют для авиации, потому что торнадо видимы не всегда. Например, они могут формироваться в восходящих потоках вдоль фронта порывов впереди грозы или быть заключены в облаке или в сильном дожде, и они также

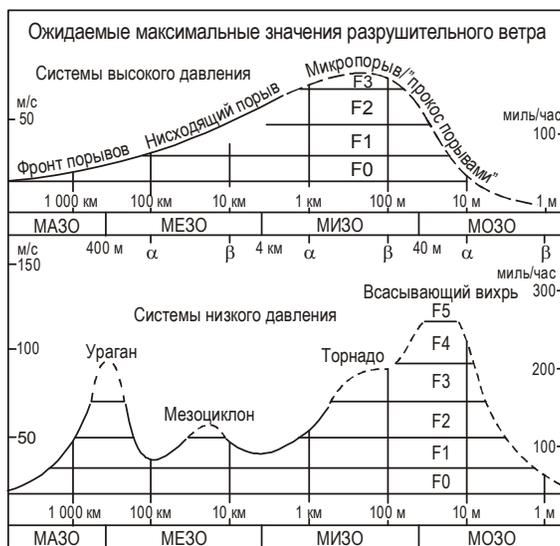
h. Мезоциклон – это мезомасштабный циклонический вихрь с ядром, чей диаметр составляет от 3 до 9 км, который часто производит на экране РЛС легко распознаваемую "подпись" (характеристику цели).

i. Водяные смерчи бывают двух типов: в одном случае они формируются из кучево-дождевых облаков сверху вниз и могут рассматриваться как торнадо над водной поверхностью; в другом случае смерч нарастает снизу вверх от поверхности моря в виде вращающегося водяного столба и не связан непосредственно с каким-либо облаком, а более сходен с "пылевыми вихрями" над земной поверхностью.



а) Мезо-, мезо-, мезо- и мезоциклоны в контексте обобщенных планетарных масштабов. Последовательность соответствует порядку расположения гласных а, е, и, о и u.

б) Мезо-, мезо-, мезо- и мезоциклоны в контексте обобщенных планетарных масштабов.



с) Ожидаемые максимальные скорости ветра, изображенные как функции масштабов систем высокого и низкого давления. Следует отметить, что самые сильные истекающие ветры наблюдаются в нисходящем порыве мизомасштаба (микрорыв), тогда как максимальная скорость ветра при торнадо не превышает 90 м/с за пределами "прокосов" всасывающих вихрей в торнадо.

Рис. 3-18. Обобщенные планетарные масштабы (Фудзита, 1981 г., адаптировано ИКАО)

могут иметь место ночью (см. главу 4). Более того, если торнадо движется, пересекая траекторию полета воздушного судна, опасность по-прежнему может существовать при встрече воздушного судна с возмущенным воздухом и сдвигом ветра в следе вихря или же с вихрем торнадо в облаке.

СВЕРХОЧАГОВАЯ ГРОЗА

3.5.28 В п. 3.5.5 и таблице 3-1 упоминаются "сверхочаговые" грозы. Основными признаками, отличающими сверхочаговые грозы от других сильных гроз, являются следующие:

- a) их единоочаговая природа;
- b) сохранение этого преобладающего одиночного очага в квазиустойчивом состоянии в течение сравнительно длительных периодов времени;
- c) чрезвычайно мощные восходящие и нисходящие потоки внутри очага, причем каждый из них поддерживает другой поток почти как при "живом" симбиозе;
- d) тенденция к движению вправо от среднего потока воздуха;
- e) огромный ущерб, наносимый сопутствующим градом, а в некоторых районах мира и группой торнадо и микропорывов.⁵²

Термин "сверхочаг" был введен Браунингом в 1962 г. в связи с очень сильной грозой с градом, которая нанесла большой ущерб в районе, находящемся недалеко от Уокингема в Англии в июле 1959 г. Типичная структура сверхочаговой грозы, которая с появлением множественных доплеровских РЛС для наблюдения таких гроз и благодаря имитации с помощью ЭВМ²⁸ была разработана относительно подробно, схематично показана на рис. 3-20.⁵³

3.5.29 Вероятно, наиболее важным признаком сверхочаговой грозы является очень сильный восходящий поток в квазиустойчивом состоянии, пополняющийся за счет влажного, потенциально неустойчивого воздуха из нижних слоев правого фланга грозы. Максимальные скорости в восходящем потоке по оценке составляют значения, превышающие 40 м/с (или почти 8000 фут/мин), причем восходящий поток может устойчиво сохранять свое состояние в течение почти двух часов. Воздух в восходящем потоке также имеет тенденцию к циклоническому вращению при подъеме на высоту, создавая особенно благоприятные условия для формирования торнадо.

3.5.30 Нисходящий поток чаще всего встречается на левом фланге сверхочаговой грозы (относительно направления ее перемещения), пополняясь за счет сухого, потенциально холодного воздуха из средних слоев, и имеет скорость аналогичную скорости восходящего потока. Принято считать, что, если фронт порывов, вызванный нисходящим потоком, распространяется примерно с той же скоростью, что и гроза, то в результате этого может образоваться квазиустойчивый район конвергенции на малых высотах под восходящим потоком, которая непрерывно принуждает приходящий поток влажного воздуха на малых высотах подниматься вверх вдоль правого фланга грозы, тем самым поддерживая восходящий поток.

3.5.31 К числу предпосылок образования в атмосфере сверхочаговых гроз при наличии условий достаточной неустойчивости, как упоминалось в п. 3.5.5, относятся: вращение ветра по часовой стрелке (в северном полушарии) и его усиление с высотой (сдвиг $\geq 0,001 \text{ с}^{-1}$), а также достаточно сильный, но не слишком сильный ветер на всех высотах. Очень сухой воздух наверху способствует формированию сильного града. К счастью, сверхочаговые грозы происходят не часто и не повсеместно, поскольку град, микропорывы и торнадо, сопутствующие таким грозам, представляют чрезвычайную опасность для воздушных судов при взлете и посадке.

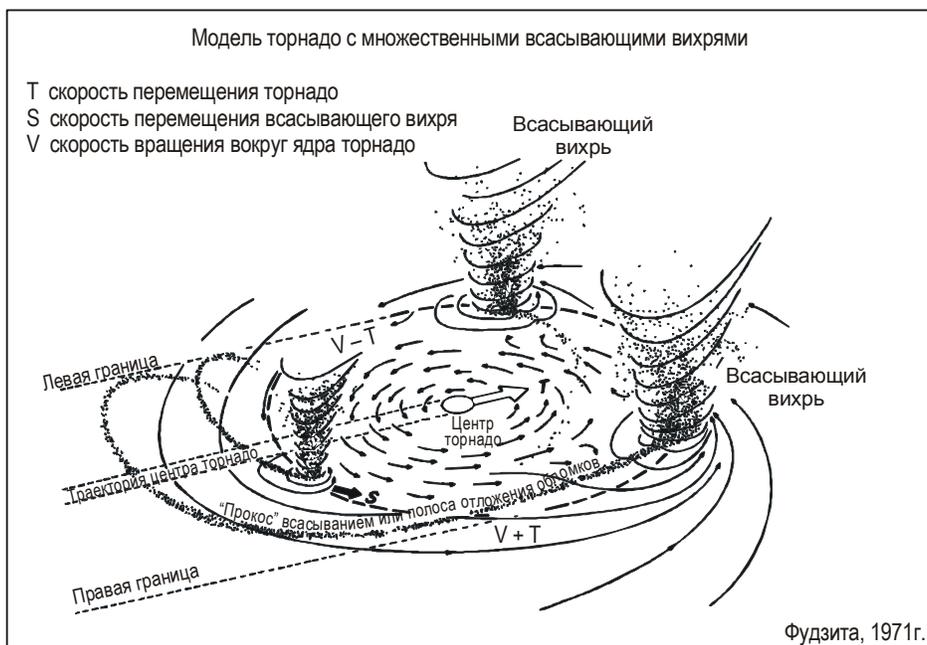


Рис. 3-19. Модель торнадо с множественными всасывающими вихрями
(Фудзита, 1971 г., адаптировано ИКАО)

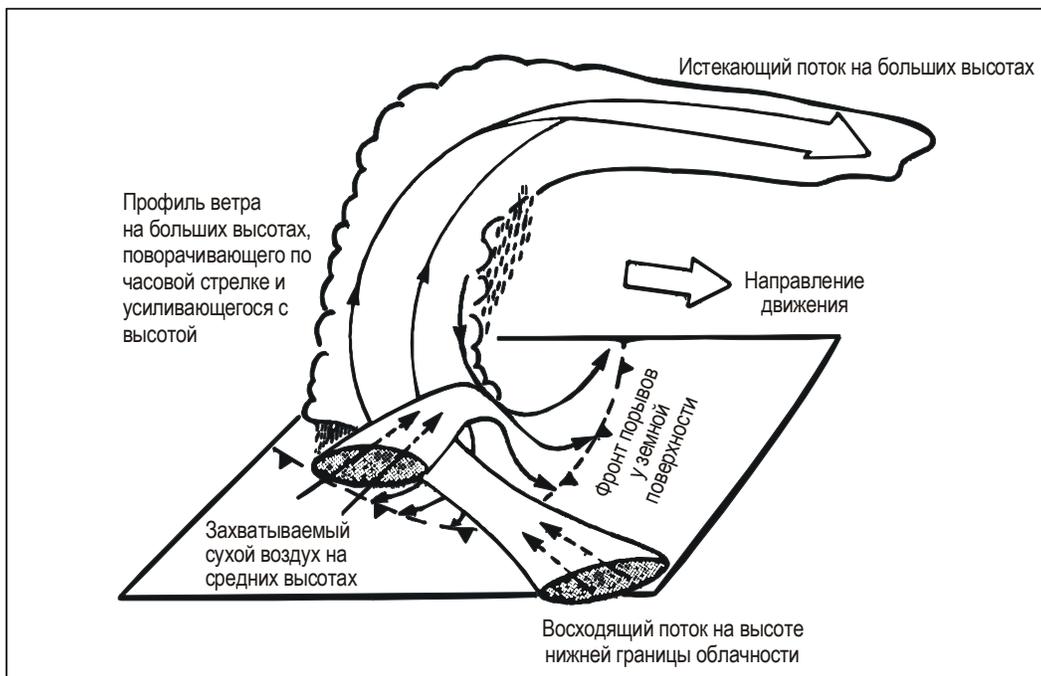


Рис. 3-20. Схематическая структура "сверхочаговой" грозы
(А.Дж.Торп, 1981г.)

3.5.30 Нисходящий поток чаще всего встречается на левом фланге сверхочаговой грозы (относительно направления ее перемещения), пополняясь за счет сухого, потенциально холодного воздуха из средних слоев, и имеет скорость аналогичную скорости восходящего потока. Принято считать, что, если фронт порывов, вызванный нисходящим потоком, распространяется примерно с той же скоростью, что и гроза, то в результате этого может образоваться квазиустойчивый район конвергенции на малых высотах под восходящим потоком, которая непрерывно принуждает приходящий поток влажного воздуха на малых высотах подниматься вверх вдоль правого фланга грозы, тем самым поддерживая восходящий поток.

3.5.31 К числу предпосылок образования в атмосфере сверхочаговых гроз при наличии условий достаточной неустойчивости, как упоминалось в п. 3.5.5, относятся: вращение ветра по часовой стрелке (в северном полушарии) и его усиление с высотой (сдвиг $\geq 0,001 \text{ с}^{-1}$), а также достаточно сильный, но не слишком сильный ветер на всех высотах. Очень сухой воздух наверху способствует формированию сильного града. К счастью, сверхочаговые грозы происходят не часто и не повсеместно, поскольку град, микропорывы и торнадо, сопутствующие таким грозам, представляют чрезвычайную опасность для воздушных судов при взлете и посадке.

3.5.32 Недавнее исследование инцидентов, когда воздушные суда встречались с сильной турбулентностью при ясном небе (ТЯН) и/или сдвигом ветра на крейсерских эшелонах, что приводило к временной потере управления и неуправляемому снижению, показывает, что такие районы часто располагаются с подветренной стороны от сильных гроз между эшелонами полета 350 и 450. И хотя по этой проблеме многое еще предстоит сделать, первоначальные данные свидетельствуют о том, что причиной турбулентности и сдвига ветра могут быть вершины сильных гроз, возможно, при взаимодействии между развивающимися вершинами и близлежащими струйными течениями или инверсией тропопаузы. Считается, что вихри или волны могут развиваться на некотором удалении в подветренную сторону от вершин гроз.⁵⁴ При полете воздушных судов против ветра они могут рассчитывать на получение своего рода предупреждения в виде волнообразных возмущений, наблюдаемых впереди (т. е. с наветренной стороны), поскольку они вначале встречаются с затухающими волнами или вихрями, тогда как воздушные суда, летящие по ходу потока воздуха или пересекающие его, такого предупреждения не получают. Сотрудники научно-исследовательского центра НАСА в Эймсе (штат Калифорния) пытаются разработать модель для использования в пилотажных тренажерах, которая сможет воспроизводить воздействие такого явления на воздушные суда различных типов.

3.6 КЛИМАТОЛОГИЯ КОНВЕКТИВНОГО СДВИГА ВЕТРА

3.6.1 На рис. 3-21⁵⁵ показана годовая частота распределения гроз во всем мире, а картина распределения гроз над территорией Соединенных Штатов показана на рис. 3-22.⁵⁶ Грозные районы Соединенных Штатов Америки и применительно к ним суточные и сезонные изменения грозовой деятельности приведены в таблице 3-2.⁵⁷ Распределение в мировом масштабе авиационных происшествий/инцидентов, в которых, как установлено или предполагается, причинным фактором были микро-порывы, показано на рис. 3-23⁵⁸, а фактические траектории разрушительных торнадо, зафиксированных над Соединенными Штатами Америки в период 1880–1982 гг., показаны на рис. 3-24.⁵⁹

3.6.2 Из рис. 3-21 видно, что чаще всего грозы наблюдаются над тропическими материковыми районами. Хорошо известно, однако, что распределение торнадо не согласуется с этой схемой. Хотя временами торнадо имели место во многих районах мира, а смерчи над озерами и океанами распространены, может быть, еще шире, большинство торнадо образуются в центральной и юго-восточной частях Соединенных Штатов Америки. Данные о распределении микропорывов по всему миру отсутствуют в силу того, что они обычно не могут наблюдаться непосредственно, и их

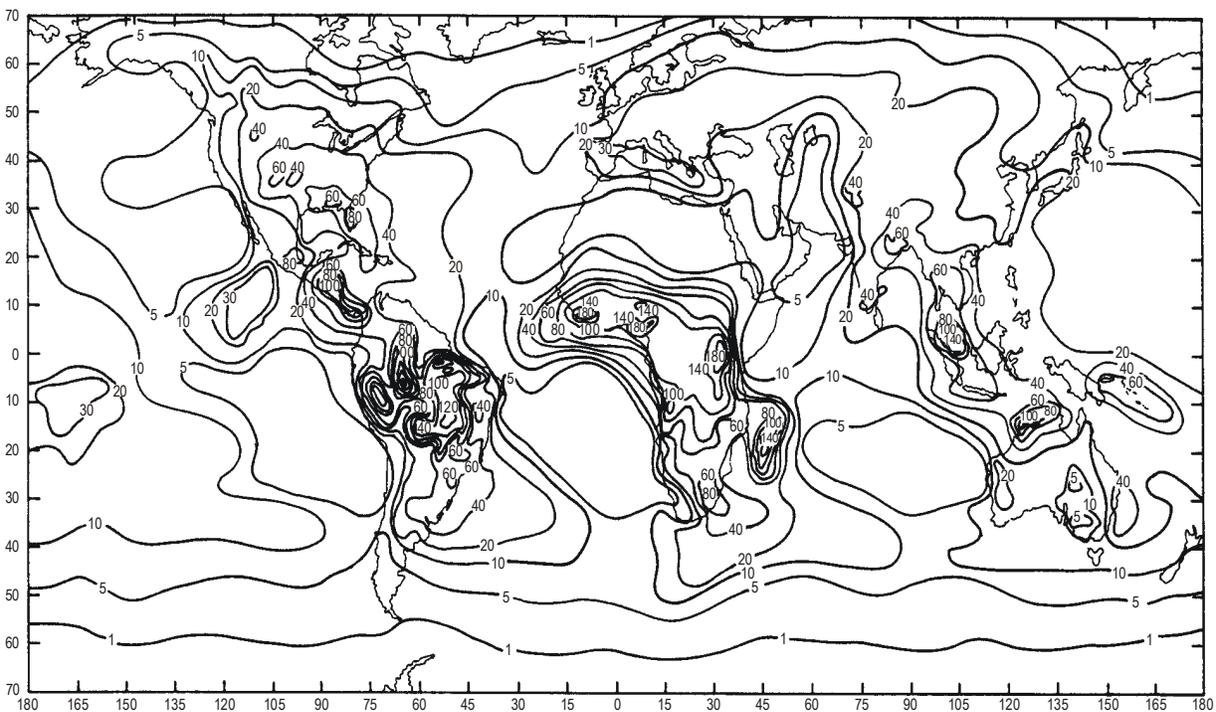


Рис. 3-21. Среднегодовое количество грозных дней во всем мире
(Источник: публикация ВМО №. 21 TP21, 1953 г.)

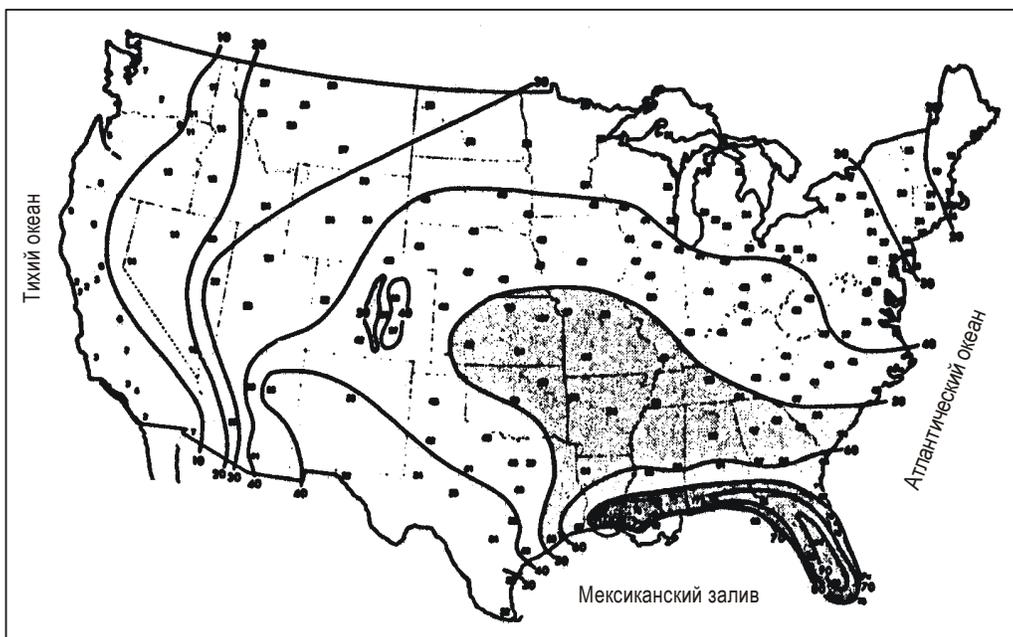


Рис. 3-22. Среднее число грозных дней в году в Соединенных Штатах Америки, 1951–1975 гг.
(Корт и Гриффитс, 1982 г.)

воздействие в виде ущерба, причиненного лесам и полям, вряд ли может быть приписано микропорыву, если не проведена детальная оценка ущерба по результатам аэрофотосъемки.

3.6.3 Микропорывы приобрели печальную известность лишь за последние примерно десять лет, поскольку они были причастны к ряду авиационных происшествий/инцидентов и, следовательно, видимое распределение тяготеет к оживленным узловым районам воздушного движения. Несмотря на то что микропорывы встречаются довольно часто, их относительно малые размеры и скоротечность означают, что вероятность встречи воздушного судна с одним из них при посадке или взлете мала, но, как показывают некоторые крупные авиационные происшествия, ее ни в коей мере не следует считать несущественной.

3.7 СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О СДВИГЕ ВЕТРА НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ ВБЛИЗИ АЭРОДРОМОВ

3.7.1 Значительный объем данных о сдвиге ветра на малых высотах вблизи аэродромов по всему миру был получен при помощи бортовых комплексных систем сбора данных (AIDS), установленных на широкофюзеляжных реактивных самолетах авиакомпаний "Бритиш эруэйз" (BA)⁶⁰ и "Ройял дач эрлайнз" (KLM)^{61,62} ("Боинг-747" BA, "Боинг-747" и DC-10 KLM). До 1984 г. база данных охватывала 10 000 посадок самолетов KLM, из которых на настоящий момент проанализировано 8573^{j,63} и выбранные данные опубликованы, и 9136 посадок самолетов BA, причем все они проанализированы и результаты опубликованы. В Германии данные AIDS собирались с самолетов "А-300" фирмы "Эрбас", используемых авиакомпанией "Дойче люфтханза" в течение одного года, а затем были проанализированы.⁶⁴

3.7.2 Данные по посадкам BA анализировались Королевским научно-исследовательским авиационным институтом Соединенного Королевства (RAE) с использованием метода дискретных порывов. Статистические данные о вероятности встречи со сдвигом ветра 1 на 1000 с конкретными схемами изменения встречного ветра, вычисленные по 9000 посадок BA, приведены в таблице 3-3.⁶⁰ Что касается данных KLM, то до сих пор опубликованы лишь результаты подробного анализа 1909 посадок в амстердамском аэропорту Схипхол (Нидерланды) и анализа по аэропортам всего мира с "наихудшими показателями". По этим результатам были вычислены статистические данные различной вероятности: рис. 3-25 показывает вероятность распределения плотности изменений ветра вдоль линии пути на каждые 30 м (100 фут) высоты, а на рис. 3-26 показана вероятность превышения данных значений сдвига ветра, и все они применимы к аэропорту Схипхол.⁶¹

3.7.3 Одной из причин осуществления этих проектов была необходимость сбора данных, на основании которых можно было бы получить реалистичные модели сдвига ветра для последующего их использования при испытаниях систем управления полетом и индикации, а также бортовых систем, предназначенных для обнаружения сдвига ветра на малых высотах и предупреждения о его наличии. Кроме того, были получены ценные данные о видах и интенсивности сдвига ветра на многих аэродромах мира.^k В работе Вудфилда и Вудса обсуждаются различные варианты сдвига ветра на различных аэродромах. Ниже приводятся выдержки из этой работы:

j. Данные анализа остальных посадок опубликованы Национальной аэрокосмической лабораторией Нидерландов (1984) вместе с оценкой разнообразных видов бортового оборудования обнаружения сдвига ветра. Материал опубликован на голландском языке и снабжен резюме на английском языке.

k. Читателям, интересующимся сдвигом ветра на конкретных аэродромах, рекомендуется обратиться к источникам – работам Вудфилда и Вудса (1984)⁶¹ и Хавердинга (1981).⁶³

Таблица 3-2. Районы распространения гроз в Соединенных Штатах Америки
(Истерлинг и Робинсон, 1985 г.)

Район	Весна		Лето		Осень		Зима	
	t	a	t	a	t	a	t	a
Западное побережье	A	H	–	–	A/N	L/M	A/N	M
Внутренняя Монтана	A	H	A/N	H	A	H	–	–
Западные равнины	A/N	M/H	A/N	M/H	A/N	M/H	–	–
Центральный	N	L	N	L	N	L	–	–
Великие озера	N	L	N	L	N	L	N	L
Северо-восток	A	M	A	M	A	M	–	–
Юго-восток	A	L/M	A	H	A	H	N	L
Полуостров Флорида	A	M	A	H	A	H	A	L
Побережье Мексиканского залива	M/A/N	L	M/A	M/H	M/A	M	N/M	L

t – время суток: M – утро; A – после полудня; N – ночь.
a – амплитуда: L – малая ($\leq 0,5$); M – средняя (0,5–1,0); H – высокая ($\geq 1,0$).

Таблица 3-3. Сдвиги ветра для одиночных уклонов с вероятностью 1 сдвиг на 1 000 посадок: всемирные данные
(Вудфилд и Вудс, 1984 г.).

Номинальная длина уклона, м	Совокупная длина уклона при 1000 посадок	Изменение скорости (длина уклона) ^{1/3} (м/с)/м ^{1/3}	Длина уклона, м	Изменение скорости, уз	Градиент, уз/100 м
305	30 000	–1,04	200	–11,8	–5,9
			300	–13,5	–4,5
			400	–14,9	–3,7
609	15 000	–0,85	400	–12,2	–3,0
			600	–13,9	–2,3
			800	–15,3	–1,9
1 218	7 500	–0,78	800	–14,1	–1,8
			1 200	–16,1	–1,3
			1 600	–17,7	–1,1

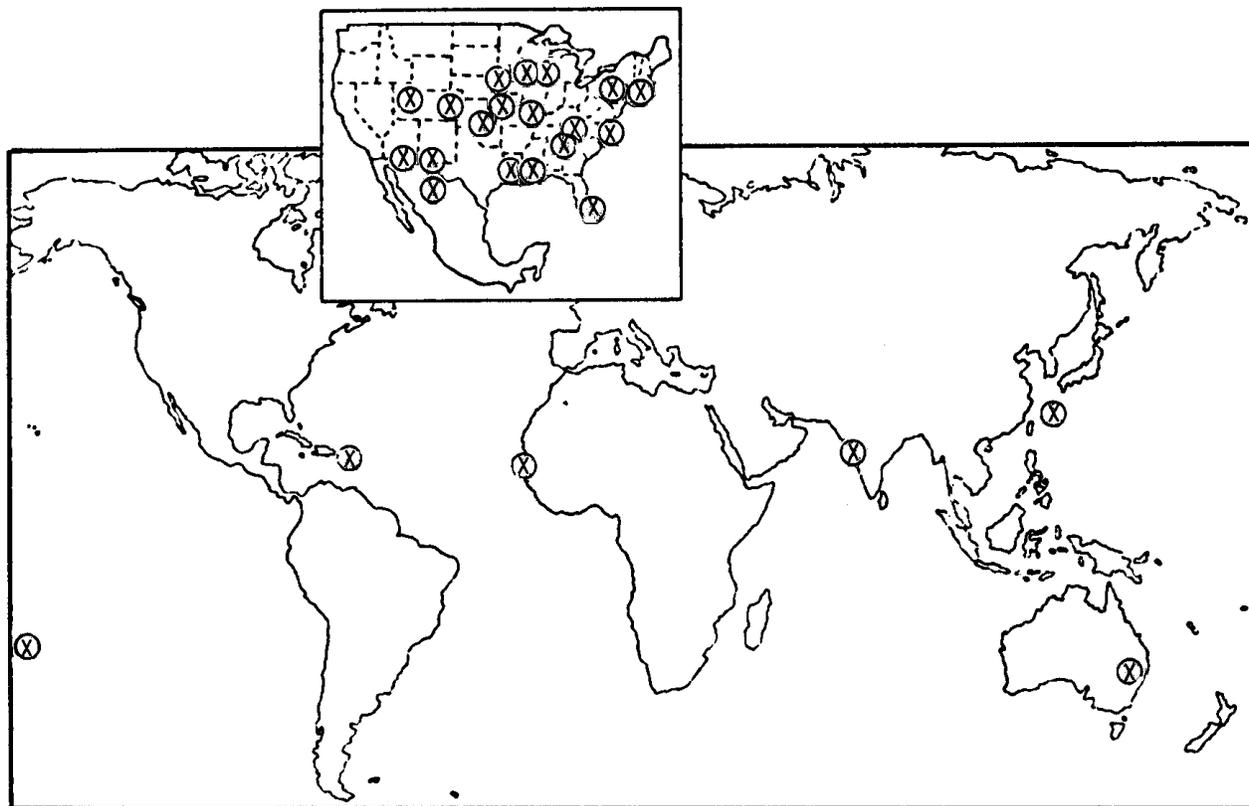


Рис. 3-23. Распределение авиационных происшествий/инцидентов, в которых установлено или предполагалось наличие микропорывов
(Маккарти и Вильсон, 1984 г., адаптировано ИКАО)

При любом уровне превышений в аэропорту с наибольшими сдвигами ветра изменения ветра не более чем вдвое превосходят те, которые случаются в аэропортах с наименьшими сдвигами ветра. Наименьшие уровни сдвига ветра среди этих аэропортов отмечались в Найроби (NBO), Куала-Лумпуре (KUL) и Сингапуре (SIN). Посадки в NBO производятся главным образом сразу после восхода солнца, когда погода, как правило, самая тихая. С другой стороны, в KUL и SIN посадки производятся после полудня, а эти аэропорты известны своими грозами в летнее время.

Самые высокие уровни сдвига ветра наблюдались в Гонконге (HKG, только на ВПП-31), Нью-Йорке (JFK) и Лондоне (LHR) для одиночных уклонов и в Гонконге (HKG, только на ВПП-31) для двойных уклонов. Гонконг окружен пересеченной гористой местностью и известен высоким уровнем турбулентности при заходе на посадку. Можно было проанализировать только заходы на ВПП-31, потому что на ВПП-31¹ посадки производятся по смещенной установке ILS и с поздним доворотом на 50°. В общем и целом форма распределений установлена четко даже по выполненным в аэропорту всего лишь 100 с не большим посадкам. Крупное обследование распределения для двойных уклонов в Сан-Франциско (SFO), как ожидается, станет частью общей схемы, если будет взята более крупная выборка.

Таким образом, поскольку узловой аэропорт [для авиакомпании "Бритиш эруэйз"] LHR является одним из аэропортов с большими сдвигами ветра и поскольку общий выбор аэропортов

1. В 1998 году старый аэропорт Кай Так в Гонконге (Китай) заменен новым Гонконгским международным аэропортом.

является репрезентативным по широкому разнообразию условий во всем мире, общие распределения, как представляется, репрезентативны в отношении большинства систем международных маршрутов.

В работе Хавердинга⁶² последовательно перечисляются аэропорты с "наихудшими показателями" (по 300 посадкам или более), от самого высокого до самого низкого уровня посадок в условиях сдвига ветра: аэропорт им. Джона Кеннеди (JFK) в Нью-Йорке, аэропорты в Хьюстоне, Монреале, аэропорт Схипхол (Амстердам), аэропорты в Дубае, Сингапуре и Бангкоке.

3.7.4 Национальная аэрокосмическая лаборатория (NLR) Нидерландов также провела анализ данных KLM в мировом масштабе с использованием метода дискретных порывов. Ожидается, что будет производиться обмен данными между RAE и NLR с включением информации из других источников, например от авиакомпании "Люфтганза". В итоге база данных предположительно будет содержать информацию о более чем 20 000 посадок, выполненных в аэропортах всего мира в

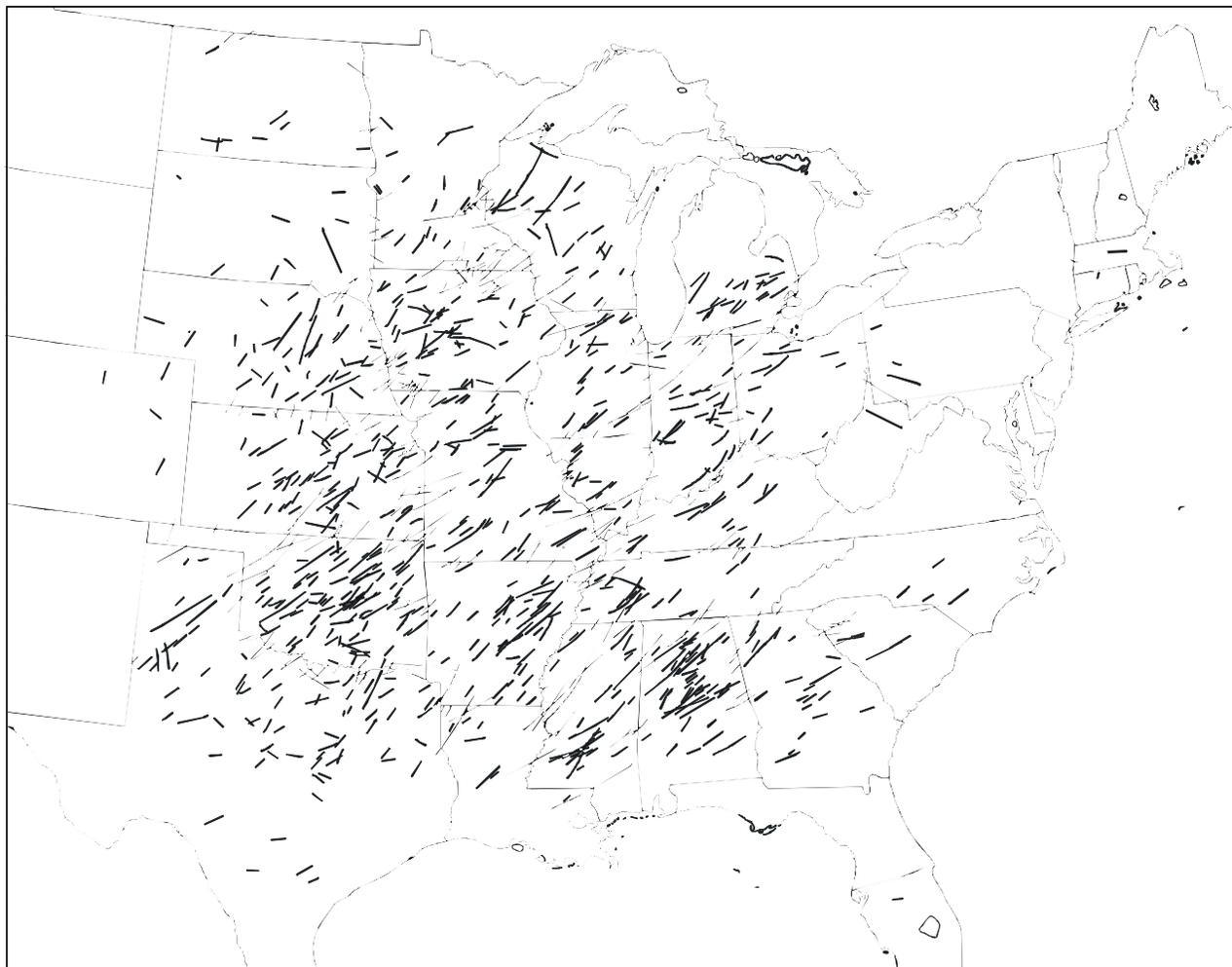


Рис. 3-24. Траектории 972 подтвержденных разрушительных (F4/5) торнадо в Соединенных Штатах Америки, 1880–1982 гг.
(Гразулис и Эбби, 1983 г.)

широком диапазоне условий, с разбивкой по временам года. Сбор данных по большим величинам сдвига ветра все еще продолжается в рамках проекта, осуществляемого в Соединенном Королевстве по программе регистраций данных для определения летной годности воздушных судов гражданской авиации (CAADRP). Это позволит получить дополнительные "экстремальные" данные для возможного будущего усовершенствования классификации интенсивности сдвига ветра (см. пп. 5.2.5–5.2.14).

3.8 СПУТНЫЕ ВИХРИ

3.8.1 Сдвиг ветра образуется позади каждого летящего воздушного судна, главным образом в виде концевых вихрей крыла, которые имеют форму двух вращающихся в противоположных направлениях цилиндрических вихревых "труб", вытянутых за законцовками крыла. Такие вихри бывают сильными, если они создаются большими широкофюзеляжными реактивными самолетами, а вихри, образуемые взлетающим самолетом, могут представлять значительную опасность для воздушных судов, следующих слишком близко сзади. Хотя спутные вихри представляют собой особый вид сдвига ветра, отношение к ним в обычных условиях несколько иное, потому что их воздействие на производящие посадку или взлет воздушные суда может быть предотвращено путем применения органами ОВД соответствующих минимальных интервалов эшелонирования. Более подробные сведения о спутных вихрях и инструктивный материал о правилах, используемых органами ОВД при введении минимумов эшелонирования воздушных судов с целью достижения наименьшего уровня потенциальной опасности турбулентности и сдвига ветра в следе, содержатся в главах 6 и 7 *Правил авионавигационного обслуживания "Организация воздушного движения"* (Дос 4444).

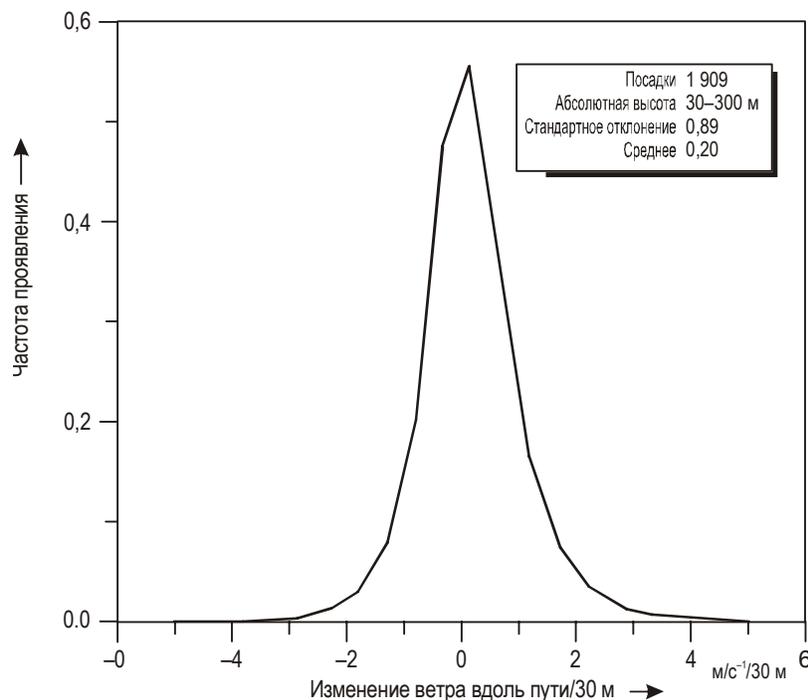


Рис. 3-25. Распределение плотности вероятностей изменения ветра вдоль линии пути на 30 м для аэропорта Схипхол в диапазоне высот от 30 до 300 м на основании данных AIDS, ноябрь 1977–1978 гг.

(Хавердингс, 1980г., адаптировано ИКАО)

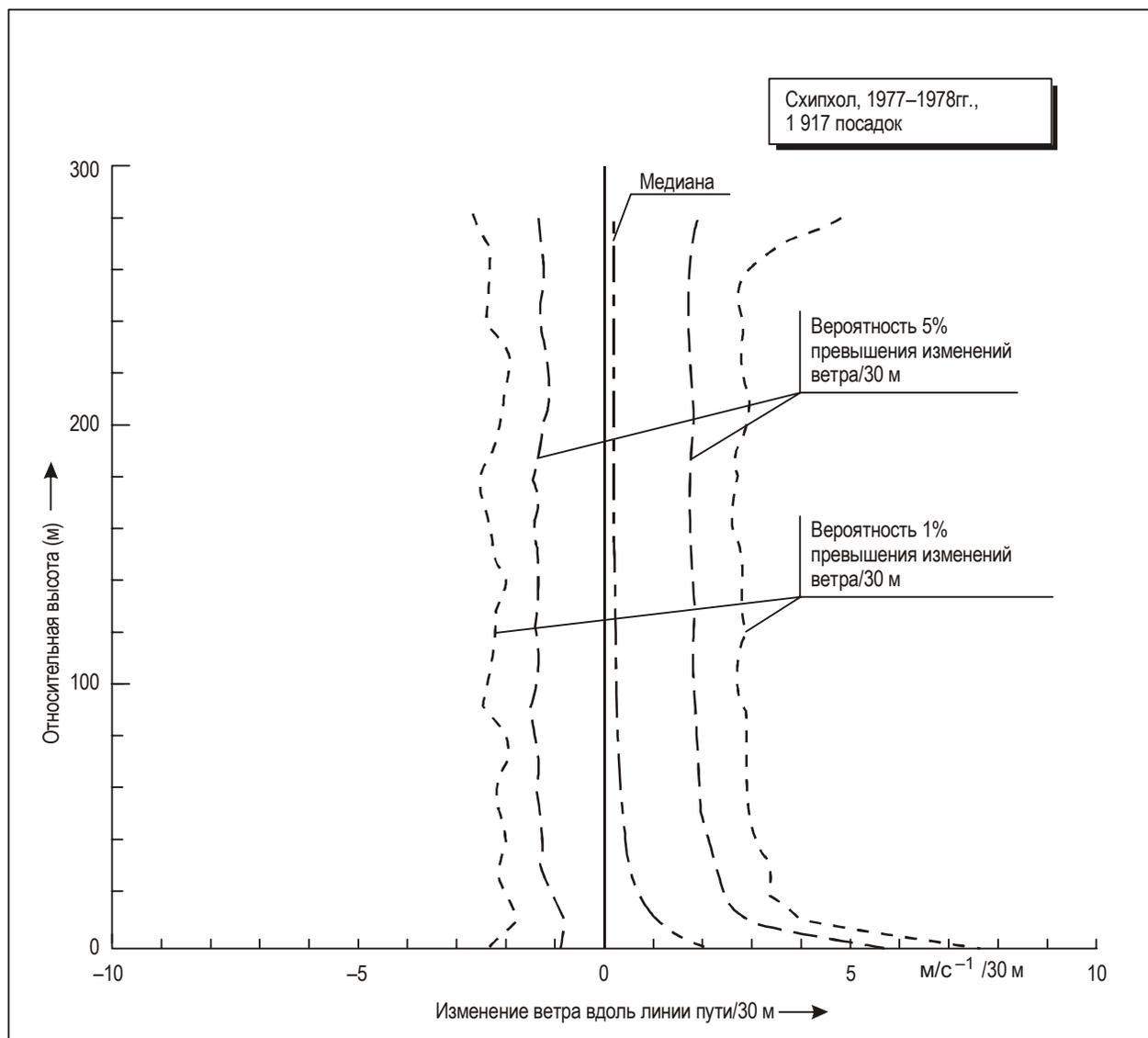


Рис. 3-26. Вероятность 50, 5 и 1 % превышения изменения ветра вдоль линии пути/30 м на одну посадку, с изменением высоты
(Хавердингс, 1980 г., адаптировано ИКАО)

3.8.2 В ряде государств (например, в Германии, Нидерландах, Соединенном Королевстве и Соединенных Штатах Америки) ведутся исследования в целях разработки "системы предотвращения попадания в спутные вихри"; такая система позволит диспетчерам УВД оценивать на основании соответствующей метеорологической информации в реальном масштабе времени тот момент, когда ВПП освобождается от вихрей, что, в свою очередь, будет способствовать уменьшению средних интервалов между посадками воздушных судов (т. е. рекомендуемых минимумов эшелонирования с учетом спутных вихрей) с тем, чтобы справиться с ожидаемым в будущем ростом объема воздушного движения.^{65,66} Следует отметить, однако, что хотя подобные эксперименты косвенно подтверждают техническое возможности создания такой системы, на практике ввод ее в эксплуатацию представляет собой трудную задачу. Вместе с тем, по мере внедрения в самых загруженных аэропортах с ограниченной пропускной способностью полностью интегрированных

систем наблюдения за метеоусловиями, которые обеспечивают четырехмерную картину поля ветра над аэропортом (см. п. 5.1.10), включение в систему функции прогнозов спутных вихрей может оказаться рентабельным и возможным с эксплуатационной точки зрения, что будет способствовать увеличению пропускной способности ВПП и воздушного пространства аэропорта. Например, потенциальный объем воздушного движения в Сент-Луисе и Детройте можно увеличить на 14 и 23 % за счет увеличения количества вылетов с близко расположенных параллельных ВПП (CSPR), то есть ВПП, расположенных друг от друга на расстоянии менее 2500 фут, при благоприятных ветровых условиях⁶⁷. Увеличение пропускной способности обеспечивается в тех случаях, когда скорость ветра превышает установленный для конкретного аэропорта порог на боковую составляющую ветра, что обеспечивает возможность выполнения воздушными судами вылета против ветра с параллельной ВПП без ограничений на эшелонирование с учетом спутной струи, налагаемых на подветренных параллельных ВПП. Поэтому наибольшее увеличение пропускной способности достигается в тех случаях, когда воздушные суда типа Heavy Jet или B-757 вылетают с подветренной параллельной ВПП. В том случае, когда статус ВПП изменяется с "независимого от спутной струи" на "зависимый от спутной струи", для консервативного учета требования безопасности полетов к эшелонированию с учетом спутных вихрей точность прогноза ветра должна составлять 5 мин. Для целей планирования желательно иметь 10–20-минутный прогноз порога бокового ветра. В настоящее время при содействии диспетчеров управления воздушным движением из Сент-Луиса разрабатывается индикаторное средство для отображения статуса независимой/зависимой от спутной струи ВПП. Цель заключается в разработке и уточнении такой зависящей от ветра процедуры на случай турбулентности в спутном следе и развертывании этой системы в различных аэропортах с большим объемом воздушного движения в течение следующих десяти лет, где имеются CSPR. С экономической точки зрения улучшение методик эшелонирования с учетом спутных вихрей позволит в период с 2002 до 2015 гг. получить в аэропорту Сент-Луис экономию в 952 млн долл. при затратах, составляющих всего 7 млн, и потенциальную экономию в 9,6 млрд долл. в 18 аэропортах при затратах, составляющих всего 64 млн долл.⁶⁸

3.8.3 В аэропортах, где имеются CSPR, таких как Франкфурт, Хьюстон интерконтинентал, Париж Шарль де Голь и Сан-Франциско, продолжаются научные исследования, направленные на увеличение объема воздушного движения. В будущем доплеровские системы светового обнаружения и определения дальности (ЛИДАРЫ) будут использоваться для определения критериев встречного ветра, необходимых для уменьшения интервала эшелонирования в лондонском аэропорту Хитроу, что может обеспечить возможность замены эшелонирования по времени на эшелонирование по расстоянию. В комплексе все научные исследования спутных вихрей с использованием ЛИДАРОВ могут привести к определению новой матрицы типов воздушных судов, основанной не только на весе, но и с возможным учетом других характеристик воздушных судов, таких как размах крыла.

3.8.4 В рамках осуществляемой в Соединенных Штатах Америки разработки систем предотвращения попадания в спутные вихри в полной мере используются возможности различных систем датчиков ветра, уже установленных на многих загруженных аэродромах в качестве компонента системы ITWS (см. п. 5.1.36 и далее). Для сведения воедино этих данных были разработаны специальные алгоритмы, такие, как доплеровский алгоритм определения профиля ветра, являющийся прототипом системы анализа ветра AVOSS (AWAS). С их помощью была продемонстрирована возможность получения точных профилей ветра с 50-метровой разрешающей способностью по вертикали на основе данных аэродромных доплеровских метеорадиолокаторов (TDWR)⁶⁹ (см. пп. 5.1.17–5.1.47). Следующим шагом является создание алгоритма для выработки подходящих сообщений для оповещения органов УВД и пилотов о сдвигах профиля, которые достаточно сильны, чтобы повлиять на подход воздушных судов и посадку на аэродроме.

3.9 АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ПРИ СИЛЬНОМ ДОЖДЕ

3.9.1 Как полагают некоторые исследователи,⁷⁰ в ряде авиационных происшествий, где в качестве одной из причин приводился сдвиг ветра (например, происшествие в международном аэропорту JFK с самолетом авиакомпании "Истерн" в 1975 г.), ухудшение характеристик воздушного судна, которое имело место, в значительной мере может быть отнесено на счет аэродинамических потерь из-за сильного дождя. Сильный дождь может влиять на характеристики воздушного судна по крайней мере в четырех областях:

- a) ударяющие по воздушному судну капли дождя сообщают ему момент количества движения, направленный вниз и назад;
- b) тонкая пленка дождевой воды поверх обшивки увеличивает массу воздушного судна;
- c) эта водяная пленка может "огрубляться" ударами последующих капель и напряжением поверхности, что может приводить к проигрышу в аэродинамическом качестве по сравнению с сухой и гладкой аэродинамической поверхностью;
- d) в зависимости от пространственного положения воздушного судна ударяющие в воздушное судно дождевые капли неравномерно сообщают ему продольный момент.

3.9.2 Проанализировав эту гипотезу с использованием вычислительной гидродинамики, исследователи пришли к следующим выводам:

- a) проигрыш в количестве движения становится значительным при интенсивности дождя, приближающейся к 500 мм/ч (очень сильный дождь);
- b) проигрыш в аэродинамическом качестве может быть весьма значительным при интенсивности дождя, превышающей 100 мм/ч (сильный дождь).

3.9.3 Моделирование посадок воздушных судов показывает, что в условиях дождя с интенсивностью 400 мм/ч в процессе захода на посадку может происходить ухудшение летных характеристик воздушного судна, эквивалентное сдвигу ветра порядка 4,5 м/с на 30 м (9 уз/100 фут). Кроме того, сочетание нескольких или всех вышеупомянутых явлений может на время увеличить скорость сваливания воздушного судна, возможно, до значения, превышающего скорость, при которой обычно срабатывает система предупреждения о сваливании (автомат тряски ручки управления). Хотя степень влияния сильного дождя на характеристики воздушного судна не установлена, Комитет Соединенных Штатов Америки по исследованию сдвига ветра на малых высотах и его опасности для авиации рекомендует продолжать такие исследования (см. добавление 2).

3.9.4 Помимо продолжающихся дискуссий относительно аэродинамических потерь при сильном дожде, следует отметить, что имели место случаи, когда воздушные суда попадали в сильную грозу и у них происходила полная потеря тяги всех двигателей. Примером может служить самолет DC-9, потерпевший катастрофу в 1977 г. при аварийной посадке после полной потери тяги всех двигателей в полете, что Национальное управление по безопасности перевозок (NTSB) объяснило прямым попаданием в двигатели большого количества воды и/или града при сильной грозе, что в сочетании с движением рычага управления тягой привело к сильному помпажу и серьезным повреждениям компрессоров двигателей.⁷¹ Изучается также вопрос о том, могут ли показания флюгерных датчиков угла атаки, используемых в системах предупреждения о сваливании и сдвиге ветра, а также приемо-передающие характеристики блистеров метеорадиолокаторов зависеть от воздействия дождя. Высказывалась мысль о том, что ошибки могут возникать из-за частичного попадания флюгерных датчиков в створ с наклонным направлением встречного дождя, угол которого при нормальной скорости воздушного судна на заходе может составлять порядка 8° к горизонтали.

Справочные материалы

1. Stewart, 1979: The atmospheric boundary layer, Third IMO lecture, WMO No. 523.
2. WMO Technical Note No. 93, 1969: Vertical wind shear in the lower layers of the atmosphere.
3. Ellis and Keenan, 1978: Development of wind shear models and determination of wind shear hazards, FAA Report No. FAA-RD-79-119.
4. André and Mahot, 1982: The nocturnal surface inversion and influence of clear air radiative cooling, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
5. Heald and Mahot, 1981: The dependence of boundary layer shear on diurnal variation of stability, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
6. Abele, 1982: Diurnal variability of wind velocity increase with height, Los Alamos National Laboratory Research Paper No. LA-9601-MS.
7. Pettersson, 1956: Convective clouds and weather, *Weather Analysis and Forecasting*, Volume 1, 2nd Edition, McGraw Hill.
8. Cole, Evans and Rhoda, 1997: Delay reduction due to the integrated terminal weather system (ITWS), terminal winds product, *Preprints, Seventh Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Long Beach, California, American Meteorological Society.
9. Joffre, 1984: Power laws and the empirical representation of velocity and directional shear, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 23, Issue 8.
10. Brooks, 1970: Preliminary study of wind shear in the boundary layer at Melbourne Airport, Meteorology Study No. 19, Australian Bureau of Meteorology.
11. Saissac, et al., 1971: Étude dynamique de la couche 0–100 m, Monographe No. 81 de la Météorologie Nationale, France.
12. McKinley, 1984: Evaluating wind flow around buildings on heliport placement, FAA Report V85-21881.
13. Morrison, 1982: Refresher course, wind shear, *Canadian Aviation*.
14. Bedard and LeFebvre, 1983: Downslope windstorms and negative buoyancy forces, *Preprints, 13th Conference on Severe Local Storms*, Tulsa, Oklahoma, American Meteorological Society.
15. Alaka, 1958: Aviation aspects of mountain waves, WMO Technical Note No. 18.
16. Zipser and Bedard, 1982: Front range windstorms revisited, *Weatherwise*, United States.
17. Smith, Crook and Roff, 1982: The morning glory: An extraordinary undular bore, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
18. Smith and Goodfield, 1981: The 1979 morning glory expedition, *Weather*, London.
19. Christie and Muirhead, Solitary waves and low altitude wind shear in Australia, Aviation Safety Digest No. 123/3.
20. Christie and Muirhead, 1983: Solitary waves: A hazard to aircraft operating at low altitudes, *Australian Meteorological Magazine*.
21. Richwien and McLeod, 1978: Low level frontal wind shear forecast test, FAA Report No. FAA-RD-77-184.

22. Badner, 1979: Low-level wind shear: A critical review, NOAA Technical Memorandum No. NWS FCST-23.
23. Wei-Kuo Tao and Simpson, 1984: Cloud interactions and merging: Numerical simulations, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
24. Byers and Braham, 1949: The thunderstorm, United States Government Printing Office.
25. Weisman, 1983: An eye to the clouds, *Weatherwise*, United States.
26. Peterson, 1984: A triple Doppler radar analysis of a discretely propagating multicell convective storm, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
27. Bennets, McCallum and Grant, 1986: Cumulonimbus clouds: an introductory review, *Meteorological Magazine*, Volume 115, Meteorological Office, London.
28. Rotunno and Klemp, 1985: On the rotation and propagation of simulated supercell thunderstorms, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
29. Davies-Jones, 1984: The origin of updraft rotation in supercell storms, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
30. Vasiloff, Brandes and Davies-Jones, 1986: An investigation of the transition from multicell to supercell storms, *Journal of Climate and Applied Meteorology*.
31. Srivastava, 1985: A simple model of evaporatively driven downdraft: Application to microburst, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
32. Seitter, 1983: Numerical simulation of thunderstorm gust fronts, United States Air Force Geophysics Laboratory, Environmental Research Paper No. 862.
33. Moncrieff, 1986: Comments on nor-wester thunderstorm structure, *Weather*, Royal Meteorological Society, London.
34. Joseph, Raipal and Deka, 1980: Andhi, the convective dust storm of northwest India, *Mausam*, Volume 31, Indian Meteorological Department.
35. Fujita, 1976: Spearhead echo and downburst near the approach end of a JFK Airport runway, New York City, University of Chicago, SMRP Research Paper No. 137.
36. Wolfson, 1983: Doppler radar observations of an Oklahoma downburst, *Preprints, Twenty-first Conference on Radar Meteorology*, Edmonton, Canada, American Meteorological Society.
37. Fujita, 1978: Manual of downburst identification for Project NIMROD, University of Chicago, SMRP Research Paper No. 156.
38. McCarthy and Wilson, 1982: The Joint Airport Studies (JAWS) Project, *Bulletin of the American Meteorological Society*.
39. Fujita and Wakimoto, 1983: Microburst in JAWS depicted by Doppler radars, PAM and aerial photographs, *Preprints, Twenty-first Conference on Radar Meteorology*, Edmonton, Canada, American Meteorological Society.
40. Wilson and Roberts, 1983: Evaluation of Doppler radar for airport wind shear detection, *Preprints, Twenty-first Conference on Radar Meteorology*, Edmonton, Canada, American Meteorological Society.
41. Woodfield and Vaughan, 1983: Airspeed and wind measurements with an airborne CO₂ CW laser, Royal Aircraft Establishment Technical Memorandum.

42. Fujita and Smith, 1985: from Fujita's "The Downburst" SMRP Research Paper No. 210, University of Chicago.
43. Wilson, Roberts, Kessinger and McCarthy, 1984: Microburst wind structure and evaluation of Doppler radar for airport wind shear detection, *Journal of Climate and Applied Meteorology*.
44. McCarthy and Wilson, 1985: The CLAWS project, *Preprints, Second Conference on Aviation Weather Systems*, Montréal, Canada, American Meteorological Society.
45. Stevenson, 1985: The Stapleton microburst advisory service project: The operational viewpoint, United States Department of Transportation, Report No. DOT/FAA/PM-85/21.
46. Fujita, 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
47. Snow, 1984: The tornado, *Scientific American*.
48. J. Wurman et al., 2007: Low Level Winds in Tornadoes and Potential Catastrophic Tornado Impacts in Urban Areas. Bulletin American Meteorological Society, Vol 88, No. 1 pp. 31-46.
49. Snow and Pauley, 1984: On the thermodynamic method for estimating maximum tornado wind speeds, *Journal of Climate and Applied Meteorology*.
50. Wolde-Tinsae, Porter and McKeown, 1985: Windspeed analysis of tornadoes based on structural damage. *Journal of Climate and Applied Meteorology*.
51. Simpson, et al., 1986: Observations and mechanisms of GATE waterspouts, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
52. Browning and Foote, 1976: Airflow, and hail growth in supercell storms, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, London.
53. Thorpe, 1981: Thunderstorm dynamics: A challenge to the physicist, *Weather*, Royal Meteorological Society, London.
54. Ellrod, 1985: Indicators of high altitude non-convective turbulence observed in satellite images, *Preprints, Second Conference on Aviation Weather Systems*, Montréal, Canada, American Meteorological Society.
55. World Meteorological Organization, 1953: World distribution of thunderstorm days, Part 2, WMO Publication No. 21, Geneva, Switzerland.
56. Court and Griffiths, 1982: Thunderstorm Climatology, Volume 2, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Department of Commerce.
57. Easterling and Robinson, 1985: The diurnal variation of thunderstorm activity in the United States, *Journal of Climate and Applied Meteorology*.
58. McCarthy and Wilson, 1984: The microburst as a hazard to aviation, 2nd International Nowcasting Symposium, Norrköping, Sweden.
59. Grazulis and Abbey, 1983: 103 years of violent tornadoes, *13th Conference on Severe Local Storms*, Tulsa, Oklahoma, American Meteorological Society.
60. Woodfield and Woods, 1984: World-wide experience of wind shear during 1981–82, Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD), Conference Proceedings No. 347.

61. Haverdings, 1980: On the use of AIDS data for a statistical analysis of wind shear during the approach, Netherlands National Aerospace Laboratory, Report NLR MP 80008 U.
 62. Haverdings, 1981: AIDS-derived wind shear statistics for approach and landing, Netherlands National Aerospace Laboratory, Report NLR TR 81066L.
 63. Haverdings, 1984: Wind shear investigation programme at the NLR (in Dutch, English summary), Netherlands National Aerospace Laboratory, Report NLR MP 84027 U.
 64. Krauspe, 1984: Wind shear measurement on board an airliner, NASA Technical Memorandum NASA TM-77463.
 65. United States Federal Aviation Administration, 1981: *General Aviation News*.
 66. Woodfield, 1983: Wind shear and wake vortex research in the United Kingdom (1982), NASA Report CP-2274.
 67. Lang, Steven (FAA), and C.R. Lunsford, J.A. Tittsword, W.W. Cooper, L. Audenaerd, J. Sherry (MITRE), R.E. Cole (MIT/LL), 2005: An Analysis of Potential Capacity Enhancements Through Wind Dependent Wake Turbulence Procedures. 6th USA/Europe Seminar on Air Traffic Management Research and Development, Baltimore.
 68. Source: Business Case Analysis for NASA Wake Vortex Technology, Robert V. Hemm, Jeremy M. Eckhause, Virginia Stouffer, Dou Long, Jing Hees, Technology Assessment and Resource Analysis Group, 3/1/2004, LMI Report #: NS254T2).
 69. Cole, Dasey and Mathews, 1998: Atmospheric profiling to support adaptive wake vortex spacing of aircraft, *4th International Symposium on Tropospheric Profiling: Needs and Technologies*, Snowmass, Colorado.
 70. Luers and Haines, 1981: The effect of heavy rain on wind shear attributed accidents, American Institute of Aeronautics and Astronautics, St. Louis.
 71. Flight Safety Foundation, 1985, and the United States National Transport Safety Board Report No. NTSB-AAR-78-3 (1978).
-

Глава 4

ВЛИЯНИЕ СДВИГА ВЕТРА НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ НА ЛЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

4.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1.1 Для понимания того воздействия, которое оказывает сдвиг ветра на летные характеристики воздушного судна, полезно рассмотреть несколько основных принципов полета. На рис. 4-1 показаны главные силы, действующие на воздушное судно в полете. Это тяга, обеспечиваемая двигателями, вес воздушного судна, подъемная сила, обеспечиваемая главным образом плоскостями крыла, и лобовое сопротивление. Такие показатели несколько упрощены; например, предполагается, что сила тяги действует в точном соответствии с направлением траектории полета. Такое упрощение способствует большему пониманию приводимых доводов, не влияя на существо выводов.

4.1.2 Когда силы, действующие на воздушное судно, взаимно уравновешены, в устойчивом полете без ускорения результирующая сила отсутствует, и, следовательно, сумма всех сил, направленных вверх перпендикулярно направлению полета, должна быть равной сумме всех сил, направленных вниз перпендикулярно направлению полета. Подобным же образом сумма всех сил, действующих в направлении полета, должна быть равна сумме всех сил, действующих в противоположном направлении. Воздушное судно в этом случае находится в уравновешенном состоянии и, согласно первому закону Ньютона, будет сохранять это состояние, будь то при наборе высоты, снижении или горизонтальном полете, до тех пор, пока равновесие сил не будет нарушено.

4.1.3 Несмотря на простоту этих формул, по ним можно сделать важные выводы. В горизонтальном полете без ускорения лобовое сопротивление должно уравновешиваться тягой, а вес - подъемной силой (рис. 4-1 б)). В полете с набором высоты без ускорения тяга должна уравновешивать еще и часть веса ($W \sin \gamma$), и, таким образом, при таком полете требуется больше тяги, чем в горизонтальном полете, причем необходимая тяга прямо пропорциональна углу набора высоты. Возможные углы набора высоты можно вывести путем упрощения формулы (1) на рис. 4-1. Для присущих набору высоты малых углов $\sin \gamma \approx \gamma$ и формула (1) приобретает следующий вид:

$$T = D + W\gamma$$

и, следовательно,

$$\gamma = \frac{T - D}{W}.$$

Таким образом, угол набора высоты находится в прямой зависимости от величины преобладания тяги над лобовым сопротивлением и в обратной зависимости от веса. Применительно к полету со снижением без ускорения (рис. 4-1 с)) из формулы (5) видно, что необходимая тяга меньше, чем в горизонтальном полете, поскольку часть веса ($W \sin \gamma$) в данном случае действует так же, как и тяга.

4.1.4 Вся эта информация касается сдвига ветра, как это видно из анализа того, что составляет каждую из четырех основных сил, действующих на воздушное судно. Вес – это не что иное, как $W = mg$ (масса воздушного судна \times ускорение силы тяжести); тяга (T) – сила, непосредственно производимая двигателями; подъемная сила (L) и лобовое сопротивление (D), как установлено, прямо пропорциональны плотности воздуха (ρ), площади крыла (S) и квадрату скорости воздушного потока над крылом (V), т. е. L и D пропорциональны ρ , S и V^2 . Константы пропорциональности C_L и C_D , называемые соответственно коэффициентами подъемной силы и лобового сопротивления, при которых:

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho S V^2$$

и

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho S V^2$$

зависят, в том числе, от угла атаки (α) крыла. Эти формулы показывают, что подъемная сила и лобовое сопротивление зависят от угла атаки (через C_L) и квадрата воздушной скорости, а также что сдвиг ветра влияет как на угол атаки, так и на воздушную скорость, что в свою очередь влияет на подъемную силу и лобовое сопротивление и в конечном итоге нарушает состояние равновесия воздушного судна (см. добавление 3).

ВЛИЯНИЕ СДВИГА ВЕТРА НА ВОЗДУШНУЮ СКОРОСТЬ

4.1.5 Утверждение "ветер влияет на воздушную скорость" как бы противоречит основному правилу начальной подготовки пилотов, гласящему, что "ветер влияет только на путевую скорость и снос".¹ Такое явное противоречие, возможно, смутило некоторых пилотов и затруднило понимание ими серьезности воздействия, которое сдвиг ветра может оказывать на летные характеристики воздушного судна. Противоречие между этими двумя утверждениями можно устранить, если ввести в первую фразу слово "кратковременный", чтобы она читалась: "ветер (т. е. изменение ветра) оказывает кратковременное влияние на воздушную скорость", и принимать во внимание продольную устойчивость воздушного судна, обеспечивающую его стремление восстановить исходную балансированную воздушную скорость. Это значит, что в условиях устойчивого ветра или в условиях постепенного изменения горизонтального ветра он не оказывает влияния на воздушную скорость и остается справедливой хорошо известная формула:

$$\text{Путевая скорость (GS)} = \text{истинная (воздушная) скорость (TAS)} \pm \text{скорость ветра вдоль линии пути (WIND)}$$

Однако в условиях сдвига ветра горизонтальный ветер (в этой ситуации ветер вдоль линии пути является важным фактором, как при наличии, например, встречного или попутного ветра на посадке/взлете), конечно же, неустойчив и меняется не постепенно, а может изменяться резко на сравнительно коротком отрезке пути. Если воздушное судно попадает в такие условия быстро меняющегося встречного/попутного ветра, ясно, что вследствие действия силы инерции оно не может мгновенно ускорить или замедлить движение для восстановления исходной воздушной скорости, и в течение короткого, но определенного периода времени воздушная скорость меняется соответственно с изменением ветра. Такое "кратковременное" изменение воздушной скорости приводит к изменению подъемной силы и лобового сопротивления и нарушает равновесие сил, действующих на воздушное судно. Примером постепенного изменения ветра может служить следующая ситуация:

путевая скорость 140 уз в штилевых условиях:
 $140 \text{ уз (GS)} = 140 \text{ уз (TAS)} - 0 \text{ (WIND)}$;

при постепенном усилении встречного ветра до 20 уз:
 $120 \text{ уз (GS)} = 140 \text{ уз (TAS)} - 20 \text{ уз (WIND)}$.

Примечание. В вышеприведенном примере альтернативная единица измерения "узел", не входящая в систему единиц СИ, используется для обозначения скорости. В соответствии с Приложением 5 вместо нее можно использовать соответствующую основную единицу измерения "километр в час".

Путевая скорость постоянно реагирует на изменяющийся режим ветра, а на воздушную скорость никакого воздействия нет. Однако из нижеследующего примера, иллюстрирующего последовательность событий при попадании в условия быстрого изменения ветра, видим, что:²

путевая скорость 140 уз в штилевых условиях:
 $140 \text{ уз (GS)} = 140 \text{ уз (TAS)} - 0 \text{ (WIND)}$;

при быстром возникновении встречного ветра до 20 уз временно:

$140 \text{ уз (GS)} = 160 \text{ уз (TAS)} - 20 \text{ уз (WIND)}$;

при восстановлении равновесия и возврате к исходной воздушной скорости (т. е. воздушное судно замедлило свое движение относительно земли)

$120 \text{ уз (GS)} = 140 \text{ уз (TAS)} - 20 \text{ уз (WIND)}$,

как и в вышеприведенном примере.

О том, каким образом воздушное судно восстанавливает равновесие благодаря своей продольной устойчивости, говорится в пп. 4.1.11–4.1.13.

4.1.6 Нарушение равновесия сил, действующих на воздушное судно, приводит к появлению результирующей силы, и тогда вместо формулы (1), в которой записано $T = D + W \sin \gamma$ или $T - D - W \sin \gamma = 0$ (т. е. результирующая сила отсутствует), при нарушенном равновесии необходимо записать формулу $T - D - W \sin \gamma = F$ (результирующая сила), а приложение результирующей силы к воздушному судну немедленно вызывает ускорение. Это обусловлено вторым законом Ньютона, гласящим, что "скорость изменения количества движения тела пропорциональна силе, действующей на тело, и направлена в ту же сторону, что и приложенная сила". Этот закон чаще выражается как:

$$F = ma \text{ (масса} \times \text{ускорение)} \text{ или } F = \frac{W}{g} a.$$

В условиях кратковременного воздействия сдвига ветра, когда равновесие нарушено, формулы с (1) по (6) выглядели бы так:³

$$\left. \begin{array}{l} \text{(набор высоты)} \\ \text{(горизонтальный полет)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T - D - W \sin \gamma \\ T - D \end{array} \right\} = \frac{W}{g} \cdot \text{ускорение вдоль траектории}$$

(снижение)	$T + W \sin \gamma - D$		полета;
(набор высоты/снижение)	$L - W \cos \gamma$	}	• ускорение перпендикулярно траектории полета.
(горизонтальный полет)	$L - W$		
			$= \frac{W}{g}$

Воздушное судно движется с ускорением в том направлении, **в котором действует нарушающая равновесие (результатирующая) сила**, до тех пор, пока не будет снова достигнуто равновесие сил. Выделенный текст подчеркивает, что при восстановлении равновесия воздушное судно неизбежно следует по новой траектории полета и, в соответствии с первым законом Ньютона, будет оставаться на новой траектории полета до тех пор, пока равновесие не будет вновь нарушено. Воздушное судно всегда стремится занять такую траекторию полета, на которой будет достигнуто равновесие между действующими на него силами. Другими словами, сдвиг ветра изменяет траекторию полета воздушного судна, и для того, чтобы воздушное судно вернулось на заданную траекторию полета, потребуется вмешательство пилота. Начальные изменения траектории полета из-за кратковременных изменений воздушной скорости, вызываемых сдвигом ветра, показаны на рис. 4-2. Это воздействие вызывается сдвигом горизонтального ветра, что может наблюдаться в профилях сильного ветра вблизи земли (особенно в струйных течениях на малых высотах), фронтальных системах и т. п.

Примечание. Говоря о кратковременном воздействии сдвига ветра на воздушную скорость, следует отметить, что ослабление встречного ветра оказывает точно такое же кратковременное воздействие на воздушную скорость (уменьшение), как и усиление попутного. Подобным же образом усиливающийся встречный ветер оказывает точно такое же кратковременное воздействие на воздушную скорость (увеличение), как и ослабевающий попутный ветер. В отношении восстановленного равновесия применимы дополнительные соображения, особенно при посадке воздушного судна, и эти вопросы рассматриваются в п. 4.2.6.

ВЛИЯНИЕ СДВИГА ВЕТРА НА УГОЛ АТАКИ

4.1.7 В п. 4.1.4 говорится, что сдвиг ветра может влиять на угол атаки. В п. 2.1.1 обсуждаются особые случаи в атмосфере, когда вертикальная составляющая ветра не равна нулю (или не очень мала) и может даже преобладать над составляющими встречного/попутного и бокового ветра. Такие случаи включают горные волны и особенно нисходящие порывы, связанные с конвективной облачностью (см. п. 3.2.8 и 3.5.11–3.5.14 соответственно). В пп. 4.1.8 и 4.1.9 особое внимание уделяется воздействию сдвига ветра, создаваемого нисходящими порывами, поскольку они несомненно представляют наибольшую опасность сдвига ветра, однако эти доводы равным образом применимы к любой ситуации, в которой вертикальная составляющая ветра преобладает над горизонтальными и быстро меняется.

4.1.8 В горизонтальном (без разворотов) полете воздушное судно занимает положение по тангажу, обеспечивающее угол атаки (α) крыла, соответствующий воздушной скорости. Соотношение между углом атаки и воздушной скоростью предполагает, что воздушный поток ударяет в переднюю кромку крыла горизонтально (т. е. составляющими, направленными вверх или вниз, можно пренебречь), и зачастую происходит именно так. Если, однако, воздушное судно летит в нисходящем или восходящем потоке, воздух уже ударяет в крыло не горизонтально, а под небольшим углом к горизонтальной плоскости, который зависит от относительных величин воздушной скорости и вертикальной составляющей ветра (нисходящего или восходящего потока). Отсюда вытекает, что угол атаки изменился без какого-либо изменения положения по тангажу.⁴ Это иллюстрируется на рис. 4-3, где показано, как угол атаки уменьшается по причине нисходящего потока, в то время как угол тангажа остается неизменным. В соответствии с данным примером у воздушного судна, летящего со скоростью 280 км/ч (140 уз), при попадании в нисходящий поток, имеющий скорость 5 м/с

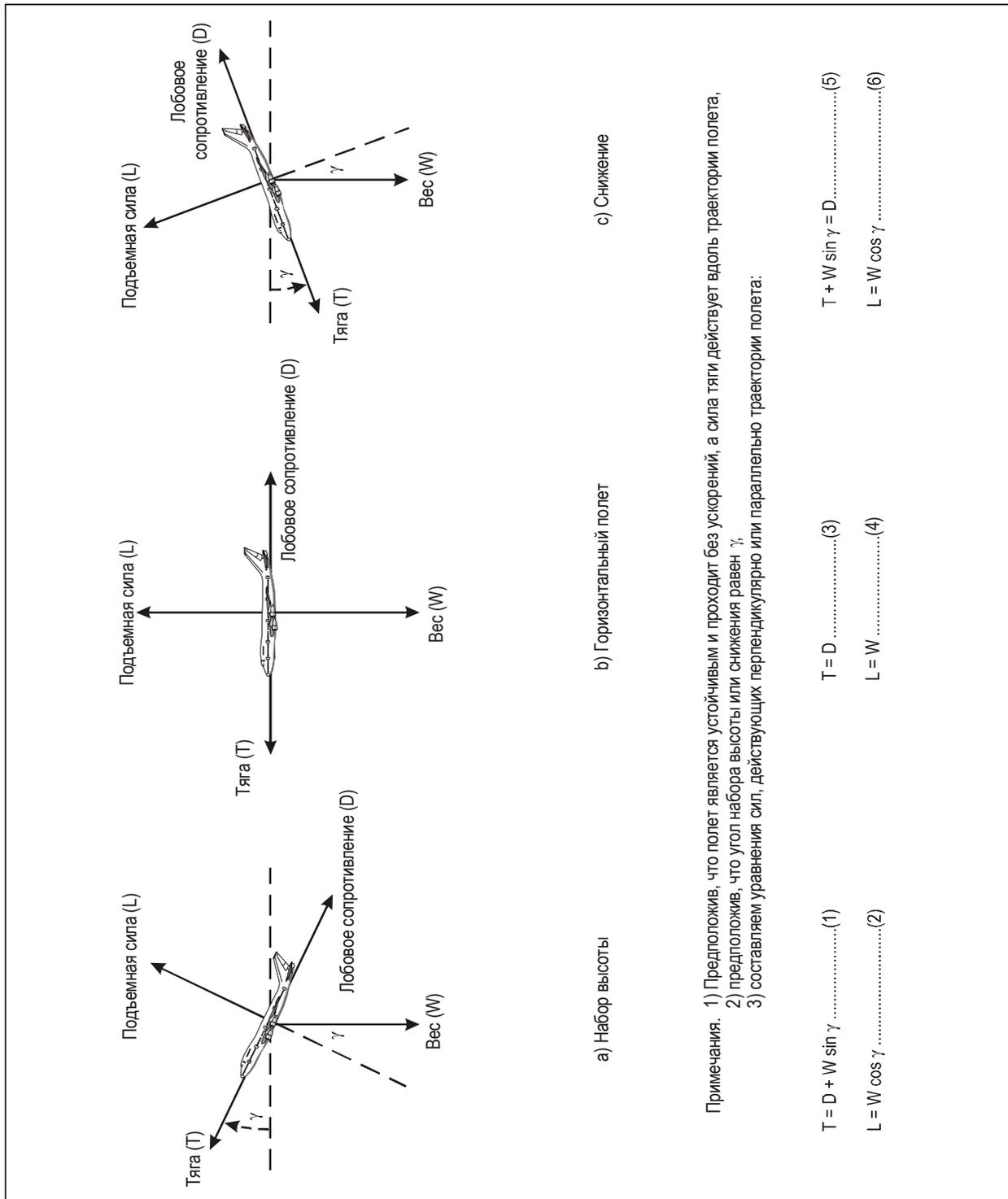


Рис. 4-1. Силы, действующие на воздушное судно в полете

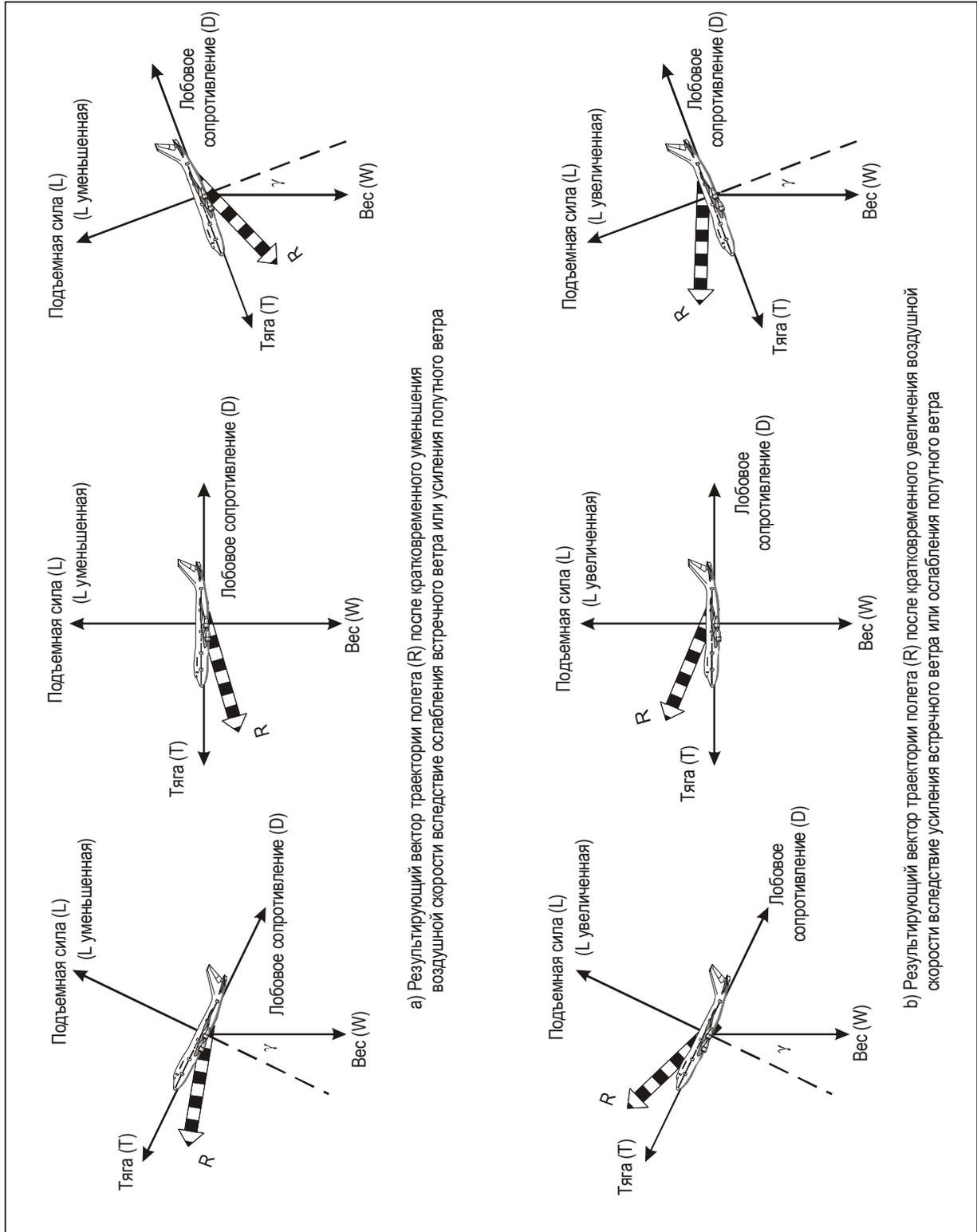


Рис. 4-2. Результирующий вектор траектории полета, связанный со сдвигом горизонтального ветра

(1000 фут/мин) угол атаки уменьшается примерно на 4° при отсутствии какого-либо изменения положения по тангажу.

Примечание. Хотя скорость 5 м/с (1000 фут/мин) является довольно типичной для большинства нисходящих потоков, при сильных грозах отмечались пиковые значения скорости нисходящих потоков, превышающие 25 м/с (5000 фут/мин).

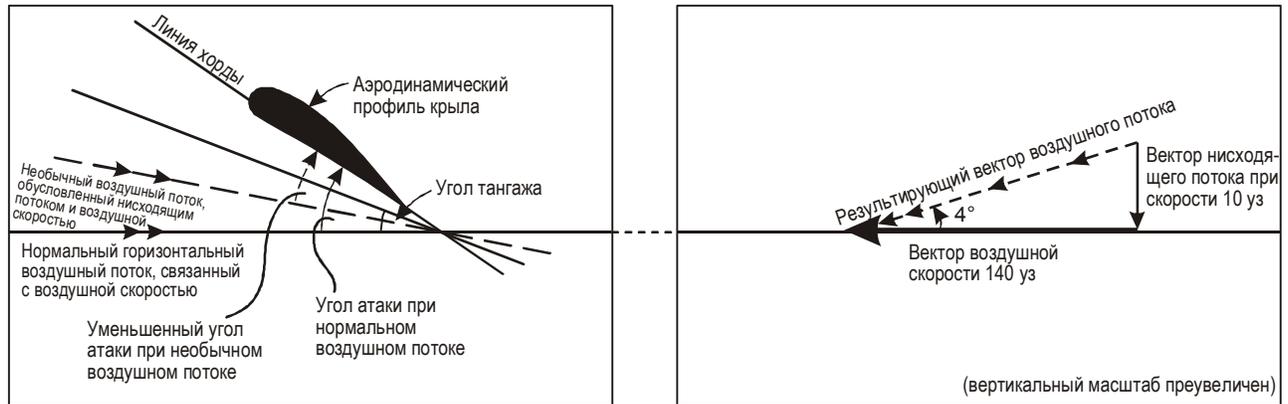
4.1.9 Как и в случае изменения воздушной скорости вследствие сдвига ветра, о чем говорилось в п. 4.1.5, изменение угла атаки, вызываемое нисходящим/восходящим потоком, является кратковременным с последующим восстановлением первоначального угла атаки благодаря продольной устойчивости воздушного судна. Нисходящий поток вызывает кратковременное уменьшение угла атаки, что в свою очередь приводит к уменьшению коэффициента подъемной силы и нарушает равновесие сил, действующих на воздушное судно, тем самым вызывая появление результирующей силы, действующей книзу от заданной траектории полета (см. рис. 4-4). Действие восходящего потока имеет противоположную направленность. Нисходящий поток, таким образом, оказывает на воздушное судно то же начальное воздействие, что и уменьшающийся встречный или усиливающийся попутный ветер, а восходящий поток – то же начальное воздействие, что и усиливающийся встречный или уменьшающийся попутный. Однако воздействие нисходящего/восходящего потока связано с кратковременным изменением угла атаки, тогда как воздействие встречного/попутного ветра связано с изменением воздушной скорости. Равновесие, будучи нарушенным, восстанавливается благодаря продольной устойчивости, но воздушное судно будет лететь уже по новой траектории. В отношении восстановленного состояния равновесия применимы дополнительные соображения, приводимые в п. 4.2.6.

ВЛИЯНИЕ БОКОВОГО СДВИГА ВЕТРА

4.1.10 До сих пор рассмотрение вопросов сдвига ветра ограничивалось составляющими встречного/попутного ветра и влиянием сдвига ветра на воздушную скорость, а также вертикальными составляющими ветра (восходящие/нисходящие потоки) и влиянием сдвига ветра на угол атаки. Как упоминалось в п. 2.1.3, поскольку взлетно-посадочные полосы ориентированы так, чтобы, по мере возможности, их направление обеспечивало наименьшую боковую составляющую ветра, вопросы сдвига в составляющих встречного/попутного ветра и особых случаев сдвига в вертикальных составляющих ветра (например, при нисходящих порывах) являются преобладающими при рассмотрении сдвига ветра. Это не означает, что сдвига в боковой составляющей ветра не существует или что подобный сдвиг не оказывает воздействия на воздушное судно. Фактически некоторый сдвиг в составляющей бокового ветра имеет место почти всегда, но это, вообще говоря, не влияет на воздушную скорость и угол атаки и, следовательно, не изменяет состояния равновесия сил, действующих на воздушное судно в вертикальной плоскости. Это влияет на углы сноса и скольжения, создавая дополнительные затруднения для пилота в уже и без того сложной обстановке. Некоторые из этих затруднений обсуждаются в п. 4.2.8.

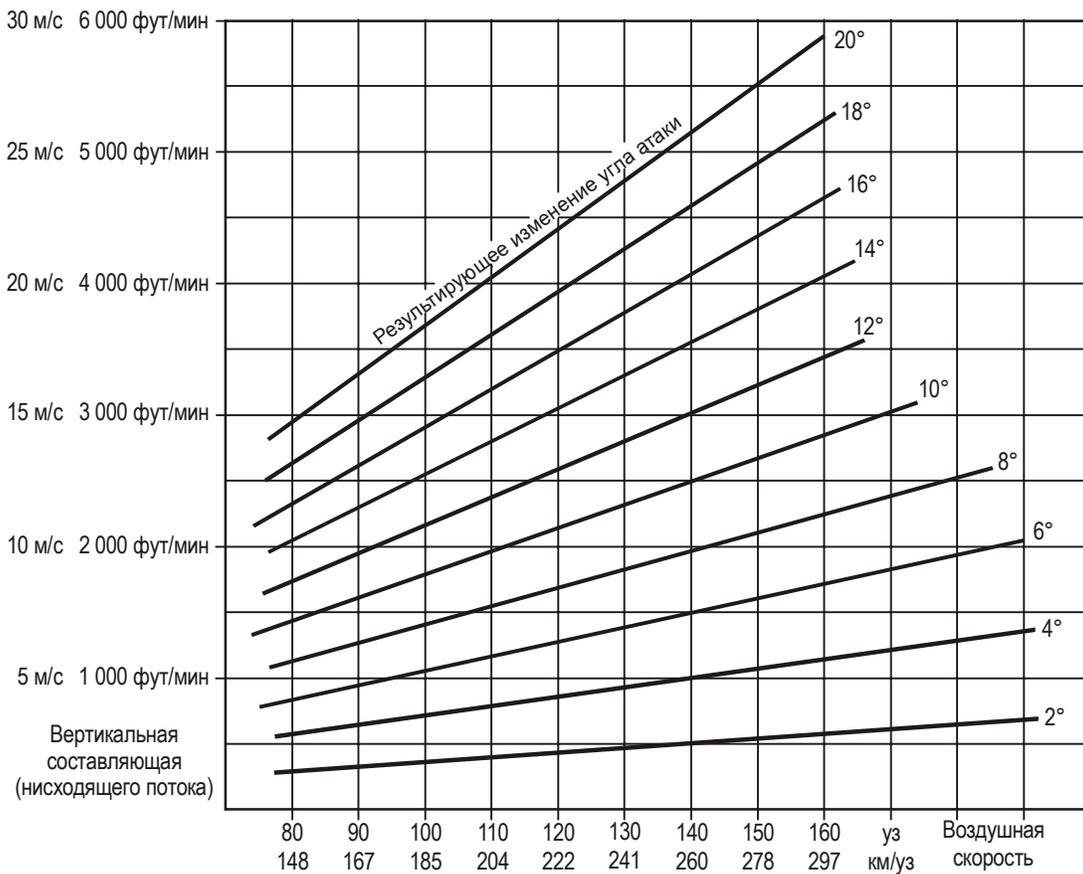
ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАВНОВЕСИЯ БЛАГОДАРЯ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

4.1.11 Необходимо рассмотреть, как воздушное судно восстанавливает состояние равновесия после его нарушения, которое могло быть вызвано сдвигом ветра. Эффект восстановления состояния равновесия называют устойчивостью воздушного судна, состоящего в способности возвращаться в исходное состояние после того, как оно было незначительно нарушено. Воздушное судно проектируется таким образом, чтобы оно было устойчивым по всем трем осям (тангажа, крена и рыскания). При нарушении состояния равновесия из-за сдвига ветра устойчивость по оси тангажа



а) Уменьшенный угол атаки из-за нисходящего потока при неизменном угле тангажа

б) Уменьшение угла атаки на 4° из-за нисходящего потока, чья скорость составляет 10 уз при воздушной скорости 140 уз



с) Уменьшение угла атаки в результате различных комбинаций воздушной скорости и вертикальной составляющей ветра (нисходящего потока)

Рис. 4-3. Уменьшение угла атаки, связанное с наличием остронаправленного нисходящего потока

или продольная устойчивость представляет особый интерес. Продольная устойчивость обеспечивает в случае изменения угла атаки немедленное и самопроизвольное вступление в действие восстанавливающих сил, возвращающих угол атаки к его первоначальному значению.⁵ (Подробный анализ этих сил является очень сложным вопросом, и здесь рассматриваться не будет.). При проявлении продольной устойчивости восстанавливающие силы главным образом обеспечиваются хвостовым, или горизонтальным стабилизатором. В отношении конкретных условий полета, представляющих интерес (горизонтальный полет по прямой, полет с набором высоты или снижением, т. е. в основном, полет без разворотов), каждому углу атаки соответствует приборная скорость, следовательно, воздушное судно, обладает еще и устойчивостью "по скорости". Это значит, что воздушное судно обычно будет пикировать и разгоняться для восстановления потерянной воздушной скорости и кабрировать и замедлять движение, чтобы устранить избыток воздушной скорости (т. е. восстановить исходную, балансирующую скорость).

4.1.12 "Естественная" реакция воздушного судна на изменение ветра обычно указывается в стандартных руководствах по летной эксплуатации для условий при фиксированном положении органов управления воздушного судна. В этих условиях изменения воздушной скорости создают слегка демпфированное колебание воздушной скорости и высоты, называемое фугоидой,^а с периодом колебания около 40 с. Если за фугоидными колебаниями не следить, воздушное судно не сможет удовлетворительно выполнять полет на малой скорости, характерной для взлета и посадки – его полет будет ныряющим, что часто можно наблюдать при полете бумажных самолетиков. К счастью, период фугоиды очень долог, и им можно управлять при помощи нормальных действий пилота, выдерживающего постоянный угол тангажа. Изменения угла атаки, например, из-за нисходящих или восходящих потоков приводят к значительно демпфированным колебаниям по тангажу с периодом около пяти секунд, которые обычно называют колебаниями короткого периода (см. рис.4-3).

4.1.13 Если пилот выдерживает постоянный угол тангажа, реакция воздушного судна на изменение воздушной скорости представляет неколебательный возврат к исходной скорости (устойчивость по скорости). Реакция на нисходящий/восходящий поток, опять же под управлением пилота, также представляет неколебательный возврат к исходному углу атаки. Степень устойчивости по скорости зависит от того, насколько исходная скорость близка к скорости при минимальной тяге, при которой запас устойчивости по скорости является нулевым. Типовые скорости взлета и посадки близки к скоростям при минимальной тяге при нормальном положении закрылков и шасси. В этих условиях устойчивость по скорости мала, и изменившаяся под воздействием сдвига ветра воздушная скорость не вернется к исходной, если ее не скорректирует пилот, управляя двигателем и/или положением воздушного судна по тангажу.

4.2 ЛЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЯХ СДВИГА ВЕТРА

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.2.1 В настоящем и следующем разделах рассматривавшиеся до сих пор теоретические вопросы метеорологии и аэродинамики разбираются соответственно применительно к практическим ситуациям, в которых присутствуют конкретные условия сдвига ветра, и к техническим приемам,

а. Необычный термин "фугоида" был придуман специалистом по аэродинамике Фредериком Ланчестером в начале нашего века. Он вывел этот термин из двух греческих слов, буквально означающих "летучеобразный", используя, к сожалению, греческое слово "летучесть" в значении "быстрого исчезновения" ("испарения"), а не "полета птицы", как намеревался.

рекомендуемым для использования пилотами при случайном попадании в эти условия. Из этого следует вывод о том, что по возможности следует избегать встречи со сдвигом ветра. На подробный анализ этого явления и его воздействия на воздушное судно тратится много времени, чтобы оказать содействие авиационным метеорологам и создать прочную основу для помощи пилотам в распознавании и, следовательно, в избегании ситуаций, в которых потенциально возможен сдвиг ветра. Знание диапазона разновидностей и зарегистрированной интенсивности сдвига ветра помогает пилоту здраво судить о серьезности этого явления. Знание особенностей реакции воздушного судна на сдвиг ветра помогает ему понять то, что при этом происходит, и служит обоснованием необходимости использования технических приемов, рекомендуемых при непреднамеренной встрече со сдвигом ветра, ряд которых могут показаться отличными от "нормальной" летной практики. Следует, однако, иметь в виду, что пилотов не поощряют летать в условиях известного или предполагаемого наличия сдвига ветра; наоборот, самый решительный совет – ИЗБЕГАТЬ, ИЗБЕГАТЬ, ИЗБЕГАТЬ.

СДВИГ ВСТРЕЧНОГО/ПОПУТНОГО ВЕТРА

4.2.2 Обстоятельства, при которых могут иметь место сдвиги встречного/попутного ветра (т. е. составляющих встречного/попутного ветра, обычно определяемых по отношению к направлению ВПП) вблизи земли, включают посадку или взлет при градиентах, характерных для сильного ветра (особенно при струйных течениях на малых высотах), через фронтальные поверхности и в непосредственной близости от гроз. Влияние на воздушное судно такого связанного с грозовой деятельностью сдвига ветра, который вызван, например, фронтами порывов и нисходящими порывами, рассматривается в пп. 4.2.9–4.2.13, поскольку в этом случае речь идет о сдвиге вертикальной составляющей ветра (при нисходящем/восходящем потоке), помимо сдвига встречного/

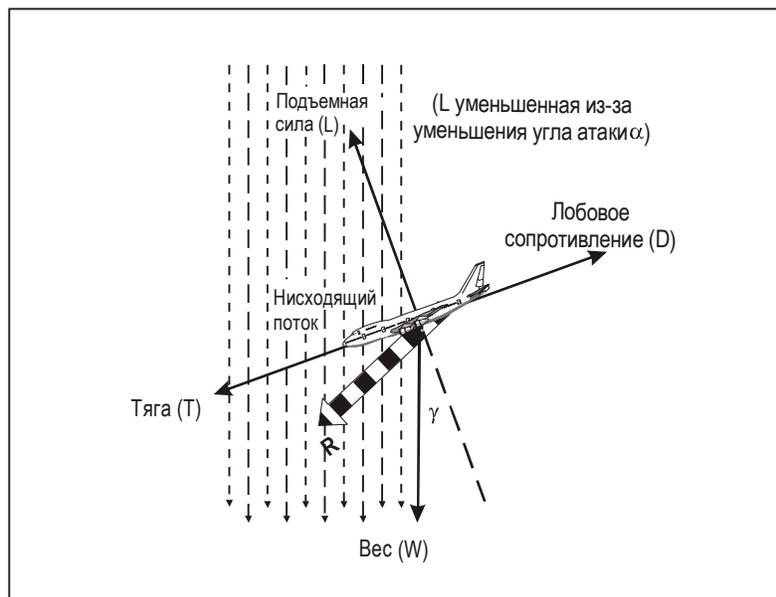


Рис. 4-4. Результирующий вектор траектории полета, связанный со сдвигом в вертикальной составляющей ветра (нисходящем потоке) — гипотетическом остронаправленном устойчивом нисходящем потоке

попутного ветра. Сдвиг ветра, связанный с градиентами ветра (или профилями) на малых высотах и с фронтальными поверхностями, описывается соответственно в пп. 3.1 и 3.3. Фронтальную поверхность можно рассматривать как особый случай профиля ветра, по крайней мере, в плане ее влияния на воздушное судно. Профили ветра характеризуются большим разнообразием по быстроте изменения скорости с изменением высоты (измеряемой, например, в узлах на 100 фут) и по общей величине изменения скорости ветра (измеряемой, например, в узлах) от верхней до нижней границы слоя. В общем смысле сдвиг ветра становится проблемой только в тех случаях, когда обе эти характеристики приобретают определенное значение.

Примечание. Обе характеристики слоя, где происходит сдвиг ветра, т. е. интенсивность (быстрота изменения скорости ветра по высоте) и общее изменение скорости ветра отражают состояние атмосферы в конкретное время и в конкретном месте и существуют независимо воздушного судна. Обе характеристики оказывают влияние на производящее посадку или взлет воздушное судно, но воздействие зависит еще и от того, насколько быстро воздушное судно пройдет через слой сдвига, т. е. от скорости при встрече с этим слоем, измеряемой, в частности, в узлах в секунду.⁶

4.2.3 В приведенном в п. 2.4.3 примере данная интенсивность сдвига ветра составляет 2,1 м/с на 30 м (4,2 уз/100 уз), а вертикальная скорость снижения воздушного судна 3,9 м/с (13 фут/с); следовательно, ветер, с которым встречается данное воздушное судно, будет замедляться на $\frac{4,2 \times 13}{100} = 0,546$ уз с каждой секундой.⁷ Приближенные значения изменений воздушной скорости

при различных значениях интенсивности сдвига ветра и вертикальной скорости снижения воздушного судна на глиссаде с углом наклона 3° показаны на рис. 4-5. Согласно этому примеру общий сдвиг ветра (общее изменение его скорости) в слое с 300 м (1000 фут) AGL до 150 м (500 фут) AGL составляет 10,5 м/с (21 уз), и если принять как необходимый аргумент, что это изменение встречного ветра для воздушного судна, производящего посадку, берется относительно направления ВПП, сдвиг вызовет торможение воздушной скорости на 42 км/ч (21 уз) с темпом 1,09 км/ч/с (0,546 уз/с). При этом необходимо указать этап полета, поскольку один и тот же градиент ветра оказывает противоположное воздействие при взлете по сравнению с посадкой. Согласно приведенному выше примеру сдвига ветра встречный ветер уменьшается вдоль глиссады в отношении воздушного судна, производящего посадку, но возрастает вдоль траектории набора высоты в отношении воздушного судна, производящего взлет (см. п. 2.3.2).

4.2.4 Для воздушного судна, производящего посадку при быстро уменьшающемся встречном или усиливающимся попутном ветре, воздушная скорость замедляется приблизительно с таким же темпом, с каким замедляется встречный ветер или нарастает попутный. Как видно из рис. 4-2 а), это вынуждает воздушное судно лететь ниже глиссады. Новый угол снижения, образующийся вследствие кратковременного отсутствия равновесия сил, действующих на воздушное судно, будет сохраняться, пока будет продолжаться сдвиг, пока будет оставаться неизменной вертикальная скорость снижения и пока пилот не вмешается в этот процесс. Посадка при усиливающимся встречном или уменьшающемся попутном ветре приводит к возрастанию воздушной скорости, эквивалентному быстроте сдвига (общей величине изменения скорости ветра) и вынуждает воздушное судно лететь выше глиссады. Эти два вида воздействия схожи с тем, что произошло бы в случае внезапного падения или возрастания тяги двигателей соответственно на эквивалентную величину, достаточную для образования нового угла снижения ниже или выше глиссады. Считается, что траектория полета как бы "улучшается", если воздушное судно следует выше траектории при нулевом сдвиге ветра (или заданной траектории), и "ухудшается", если оно следует ниже траектории полета при нулевом сдвиге ветра. Остается спорным, однако, может ли вообще какое бы то ни было отклонение от глиссады классифицироваться как "улучшение" траектории полета. Эти же виды воздействия на воздушное судно могут описываться по-иному как сдвиг, повышающий летные характеристики (возрастание встречного, уменьшение попутного ветра), и сдвиг, понижающий такие характеристики (уменьшение встречного, возрастание попутного ветра).

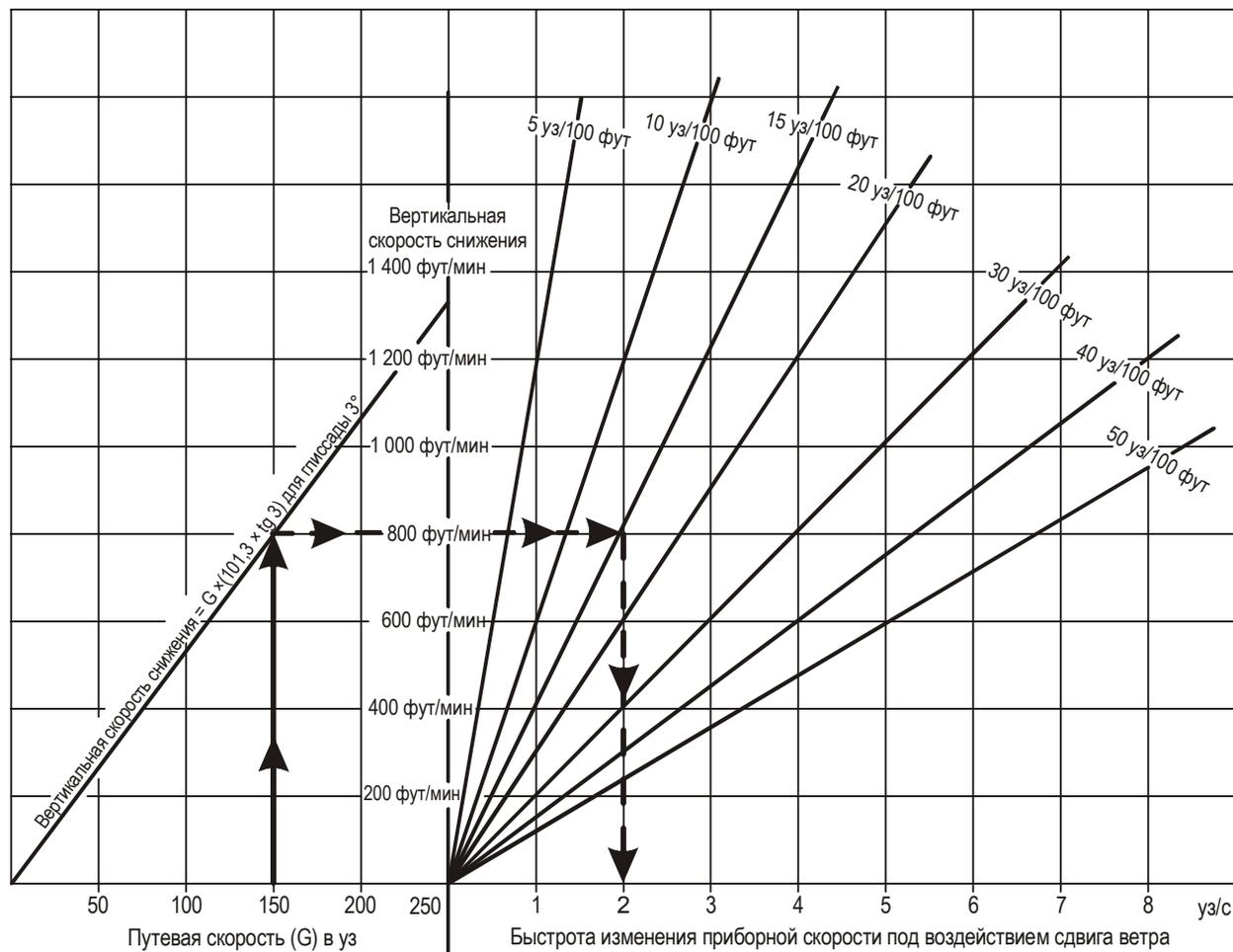


Рис. 4-5. Быстрота изменения приборной воздушной скорости под воздействием сдвига ветра и вертикальная скорость снижения воздушного судна
(Лорд, 1978 г., адаптировано ИКАО)

4.2.5 С точки зрения пилота фактическая последовательность событий, которые он может наблюдать по бортовым приборам, в значительной степени зависит от конкретного сочетания обстоятельств, включая сам сдвиг, высоту начального попадания в сдвиг над поверхностью земли, конфигурацию воздушного судна и действия пилота. Однако последовательность событий относительно прямолинейна, если рассматривать реакцию воздушного судна при фиксированном положении органов управления. С учетом этих ограничений последовательность такова, что воздушная скорость изменяется немедленно с началом попадания в сдвиг с последующими отклонениями профилей высоты и положения по тангажу, как показано на рис. 4-6 и 4-7. В ситуациях, когда встречный ветер уменьшается, а попутный увеличивается, реакцией воздушного судна (благодаря продольной устойчивости) и естественной реакцией пилота на падение воздушной скорости является создание отрицательного угла тангажа для восстановления потери скорости. Однако в процессе посадки и взлета критическим моментом является ухудшение траектории полета в такой непосредственной близости земли и препятствий, а не воздушной скорости, поскольку последняя по-прежнему в достаточной степени превышает скорость сваливания.

4.2.6 Технические приемы, рекомендуемые для использования пилотами с целью сохранения заданной траектории полета, рассматриваются в разделе 4.3; однако вначале необходимо взглянуть

на мотивировку применения таких приемов в конкретных условиях сдвига ветра. Для изменения скорости и высоты воздушного судна и, следовательно, вертикальной скорости набора/снижения пилот пользуется органами управления, рулем высоты (обеспечение соответствующего угла тангажа и, следовательно, угла атаки) и тягой. Эти же органы управления являются главным средством, при помощи которого пилот может сохранять траекторию полета, если он непреднамеренно оказывается в условиях сдвига ветра. Воздействие использования органов управления рулем высоты и тягой на воздушное судно является взаимосвязанным и невозможно констатировать характер воздействия при изменении положения одного из органов управления, не указав на действие, произведенное в отношении другого из этих органов. В результате увеличения тяги появляется положительное продольное ускорение, которое в зависимости от положения руля высоты может обеспечивать вертикальную скорость набора высоты или разгон (увеличение воздушной скорости) или и то, и другое вместе. Как уже разъяснялось в пп. 4.2.2 и 4.2.3, одной из важных характеристик сдвига ветра для воздушного судна является скорость при встрече со сдвигом ветра. При сдвиге ветра, понижающем летные характеристики, если пилот сможет увеличением тяги сообщить воздушному судну ускорение с тем же темпом, с каким падает воздушная скорость, ему удастся компенсировать сдвиг. Общая для турбореактивных транспортных воздушных судов способность к разгону в посадочной конфигурации со всеми работающими двигателями составляет 6 км/ч/с (3 уз/с) (0,1375 g), и это означает, что такое воздушное судно может сохранять горизонтальный полет с постоянной скоростью при понижающем летные характеристики сдвиге ветра 6 км/ч/с (3 уз/с). Однако следует отметить, что интенсивность сдвига ветра может превышать эту способность. С изменением интенсивности сдвига должна меняться и обеспечиваемая тяга. Это представляет дополнительное затруднение, потому что, если сдвиг прекращается над уровнем земли в процессе посадки, т. е. ветер остается постоянным по высоте от нижней границы слоя сдвига до приземления, воздушное судно после прохождения слоя сдвига будет выполнять посадку при устойчивом ветре, и изменение тяги, необходимое при выходе из слоя сдвига для сохранения положения на глиссаде, будет зависеть от того, является ветер до приземления встречным или попутным. Набегающий поток, который воздействует на воздушное судно при посадке в различных условиях устойчивого ветра, показан на рис. 4-8. Это показывает, что при посадке с встречным или попутным ветром угол атаки и скорость набегающего потока представлены измененными по сравнению с штилевыми условиями. Пилот соответственно устанавливает режим тяги и угол тангажа, чтобы сохранить положение на глиссаде. При встречном ветре воздушное судно имеет больший угол тангажа, более пологий угол наклона траектории полета и меньшую вертикальную скорость, чем в отсутствие ветра, и для полета по глиссаде требуется повышенная тяга. И наоборот, при посадке с попутным ветром воздушное судно имеет меньший угол тангажа, более крутой угол наклона траектории полета и более высокую вертикальную скорость снижения, чем в отсутствие ветра, и для сохранения положения на глиссаде требуется меньше тяги.²

4.2.7 Для управления полетом с целью выдерживания траектории полета воздушного судна, в дополнение к использованию тяги, пилот пользуется рулем высоты, чтобы установить соответствующий угол тангажа, требующийся для изменения угла атаки. Это позволяет пилоту "обменивать" потенциальную энергию (высоту) на кинематическую (скорость) и наоборот.⁴ Высота может быть использована для повышения скорости путем создания отрицательного угла тангажа и таким образом обеспечив ускорение движения воздушного судна, но за счет потери высоты, а скорость может быть использована для набора высоты путем создания положительного угла тангажа, при этом увеличение высоты обеспечивается за счет замедления движения воздушного судна. Это, разумеется, является разовой акцией, поскольку воздушное судно в любой момент располагает ограниченным запасом энергии, включающим потенциальную (в зависимости от высоты) и кинетическую (в зависимости от скорости) энергию. Преобразование одного вида энергии в другой не изменяет общего количества энергии. Однако увеличение или уменьшение тяги изменяет общее количество энергии и как таковое оказывает "постоянное" влияние на траекторию полета. Несмотря на "временный" характер влияния изменения угла тангажа, обмен одного вида энергии на другой может помочь в выдерживании траектории полета, и при этом он связан с одним конкретным преимуществом, которое заключается в том, что реакция воздушного судна (т. е. влияние на него

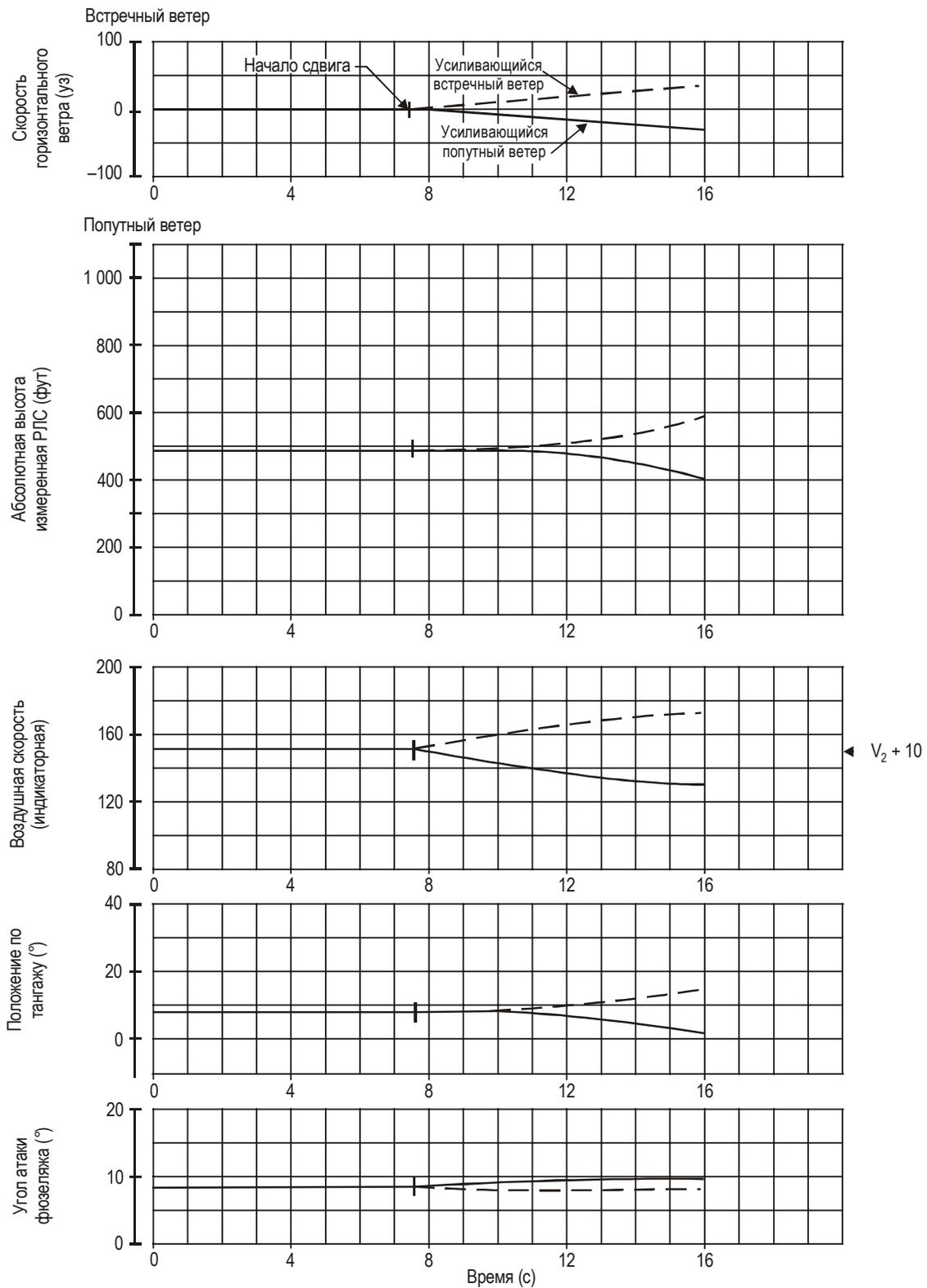


Рис. 4-6. Начальная реакция воздушного судна с фиксированным положением органов управления на сдвиг составляющих встречного/попутного ветра
(Учебное пособие ФАУ по сдвигу ветра, 1987 г., адаптировано ИКАО)

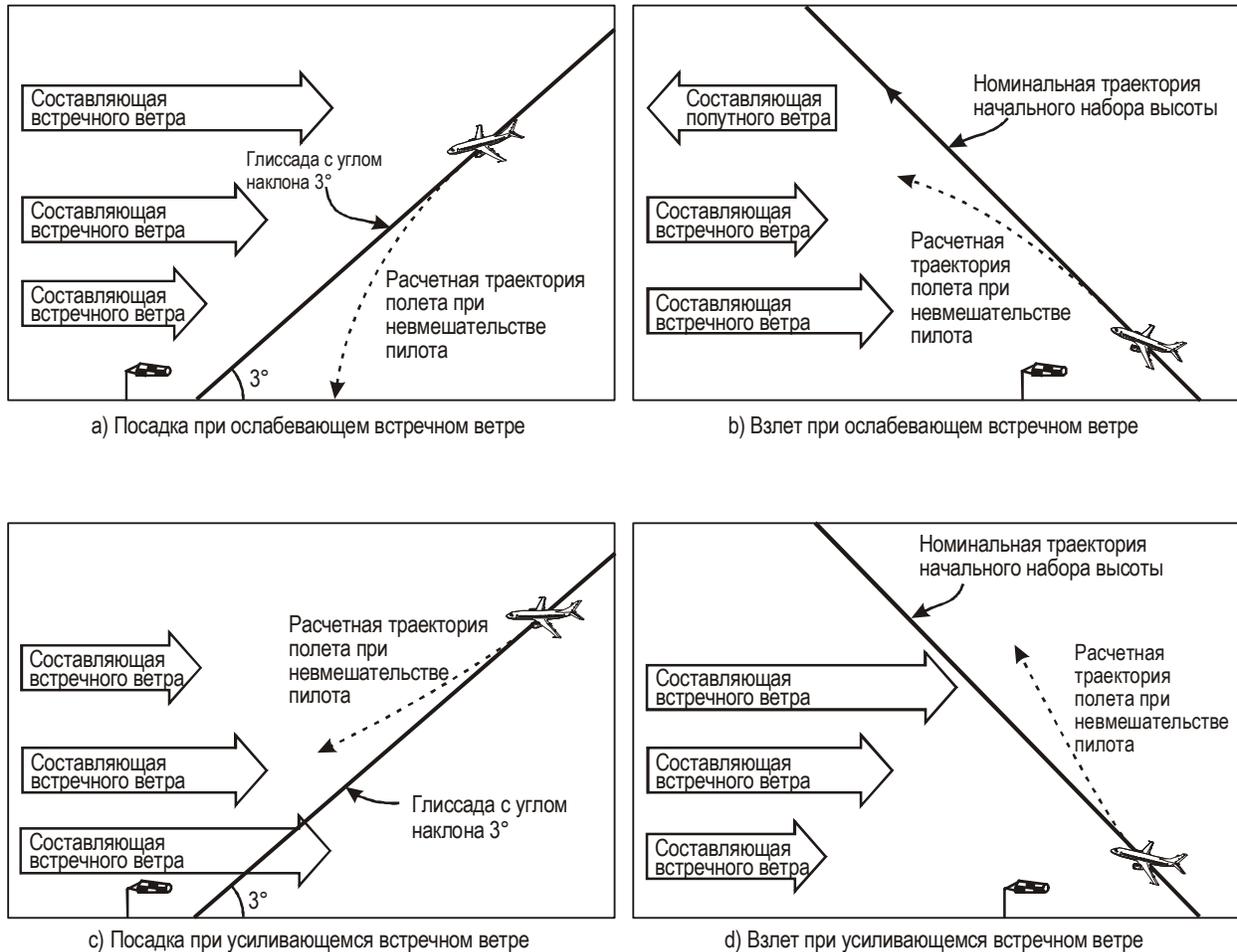


Рис. 4-7. Воздействие сдвига встречного (попутного) ветра на воздушное судно при предполагаемом невмешательстве пилота

траектории полета) носит почти прямой характер. Пределом располагаемой тяги является, очевидно, располагаемое максимальное количество тяги, обеспечиваемое двигателями воздушного судна. Существует также верхний предел, называемый углом сваливания, до которого может быть увеличен угол атаки для обмена скорости на высоту, но выше которого подъемная сила уже не растет, и фактически быстро уменьшается. Это возвращает нас ко второй характеристике сдвига ветра, которая имеет значение для воздушных судов и которая упомянута в пп. 4.2.2 и 4.2.3, а именно: общее изменение скорости ветра от одной границы слоя сдвига ветра до другой. Общее изменение скорости ветра представляется важным при сравнении с запасом скорости сваливания при полете на малых высотах, которая является наименьшей скоростью при выдерживании горизонтального полета (как правило, этот запас составляет 20 % или около 50 км/ч (25 уз) для реактивного транспортного воздушного судна). Рекомендуемые в разделе 4.3 технические приемы выдерживания траектории полета при встрече со сдвигом ветра включают корректирование как тяги, так и угла тангажа. Следует отметить, что хотя большинство профилей сдвига в ретроспективе, т. е. в результате анализа структуры профилей после свершившегося факта, могут показаться вполне соизмеримыми с возможностями воздушного судна, в реальных условиях сдвига ветра пилот не имеет представления о том, насколько интенсивен предстоящий сдвиг или какова будет его длительность. Следовательно, в случае превышения определенных параметров (о чем говорится в пп. 4.3.42–4.3.71) выполняется уход на второй круг.

4.2.8 В п 4.1.10 говорится о воздействии на воздушное судно сдвига боковой составляющей ветра. Сдвиг бокового ветра оказывает прямое начальное влияние на углы сноса и скольжения, заставляя воздушное судно разворачиваться по курсу и крениться, но не оказывает в начале влияния на воздушную скорость и высоту. Воздушное судно кренится в сторону сдвига, разворачивается по курсу в сторону сдвига и испытывает боковой снос в сторону от заданной траектории полета, как показано на рис. 4-9. Следовательно, для борьбы с воздействием сдвига бокового ветра будет достаточной нормальная техника пилотирования по курсу и крену. Разумеется, из-за сильного сдвига бокового ветра может потребоваться уход на второй круг, но опять-таки техника пилотирования, применимая к ситуации, когда имеет место сильный, но устойчивый боковой ветер, также применима и к сильному сдвигу бокового ветра. Изменение боковых составляющих ветра, происходящее одновременно со сдвигом встречного/попутного ветра, значительно увеличивает нагрузку на пилота в уже достаточно сложной и динамичной обстановке.

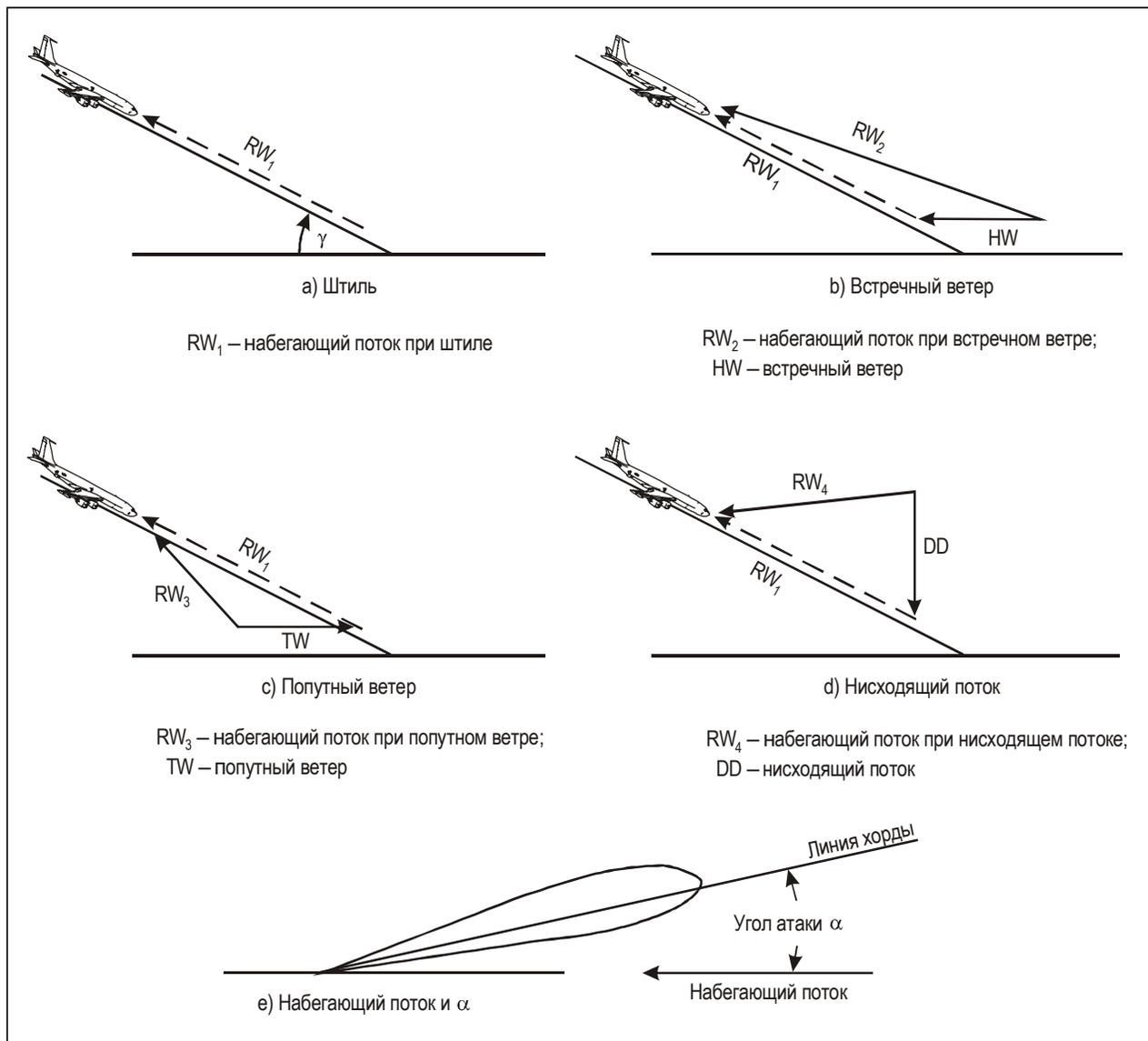


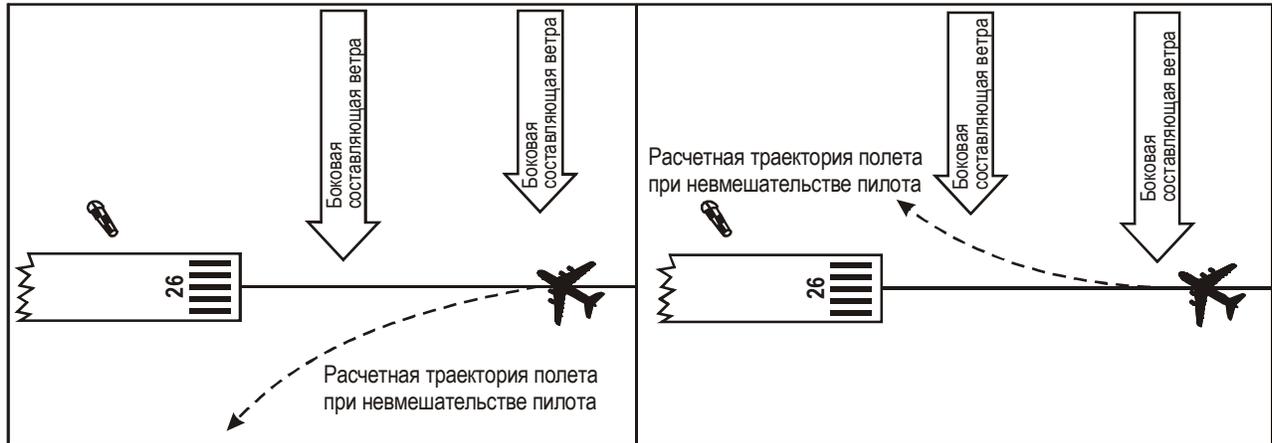
Рис. 4-8. Набегающий поток, который воздействует на воздушное судно при посадке в различных условиях устойчивого ветра

Примечание. Приборные показания инерциальной навигационной системы дают направление ветра в градусах, отсчитываемых от истинного севера, тогда как служба УВД сообщает направление приземного ветра в градусах, отсчитываемых от магнитного меридиана. При определении вероятного сдвига ветра это должно учитываться на аэродромах с большим магнитным склонением.⁸

СДВИГ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕТРА (ВОСХОДЯЩИЕ/НИСХОДЯЩИЕ ПОТОКИ)

4.2.9 Сдвиг ветра вследствие значительного и быстрого изменения вертикальных составляющих ветра (восходящих/нисходящих потоков) создает наиболее опасные для воздушного судна условия. Общее влияние восходящих и нисходящих потоков на воздушные суда описывается в пп. 4.1.7–4.1.9, где показано, что главными причинами опасности являются нисходящие порывы/микрорывы. При нисходящем порыве (микрорыв – это концентрированная форма нисходящего порыва), как это описывается в пп. 3.5.11–3.5.22, сильные нисходящие потоки проникают сквозь нижнюю границу облачности и достигают непосредственной близости уровня земли, распространяясь затем в радиальных направлениях вдоль земной поверхности. Как полагают, интенсивные микрорывы образуют кольцевые вихри вокруг нижней части нисходящего потока у самой земли (см. рис. 3-15 и 3-16). Воздействие нисходящего порыва на воздушное судно, имевшее несчастье попасть в его зону, зависит от конфигурации воздушного судна, интенсивности нисходящего порыва и места, где располагается нисходящий порыв (сбоку или вертикально) относительно траектории полета. Три типичных случая, показывающие расположение нисходящих порывов относительно глассады – над ней и по обе стороны от нее, – представлены на рис. 4-10.

4.2.10 В первом рассматриваемом случае воздушное судно пролетает через нисходящий порыв, более или менее находящийся на траектории полета, например, на глассаде, как показано на рис. 4-10 а). При встрече с нисходящим порывом воздушное судно обычно вначале сталкивается с усиливающимся встречным ветром и, возможно, с завихрениями в истекающем потоке. Наблюдаются и такие случаи, однако, когда стержень нисходящего порыва располагается не вертикально, и тогда в зависимости от наклона это может усиливать истекающий поток с одной стороны нисходящего порыва и ослаблять его с противоположной стороны. Это значит, что усиливающийся встречный ветер может не всегда иметь место. Усиливающийся встречный ветер вызывает увеличение воздушной скорости, воздушное судно кабрирует и летит выше глассады или траектории набора высоты. Хотя пилот может противодействовать этому и вернуться на первоначальную траекторию полета, уменьшив тягу, все же, если пилот предполагает, что усиление встречного ветра обусловлено нисходящим порывом (как это упоминается в п. 4.2.11), уменьшение тяги не желательно, а, напротив, рекомендуется немедленно начать маневр ухода на второй круг. По мере прохождения воздушным судном через нисходящий порыв вертикальная составляющая ветра становится все более доминирующей, пока не будет пройден центр (или осевая линия) нисходящего потока. По достижении воздушным судном центра нисходящего порыва встречный ветер прекращается и сменяется нисходящим потоком (вертикальной составляющей), угол атаки уменьшается с изменением набегающего потока в результате замены встречного ветра нисходящим потоком и продолжает уменьшаться по мере нарастания скорости нисходящего потока⁹ (см. рис. 4-8 d)). Это приводит к пикированию воздушного судна, которое в обратном порядке проходит через заданную глассаду или траекторию набора высоты и летит ниже нее. При выходе воздушного судна из нисходящего порыва нисходящий поток сменяется усиливающимся попутным ветром, приводящим к уменьшению воздушной скорости и дальнейшему ухудшению траектории полета. Будучи внутри вертикального стержня сердцевины нисходящего порыва, воздушное судно снижается со скоростью нисходящего потока (т. е. "сносится" вниз в новом вертикальном режиме ветра аналогично сносу при боковом ветре, хотя нисходящий поток будет представлять, конечно, более серьезный случай). Чтобы противостоять устойчивому нисходящему потоку, необходимо



а) Усиливающаяся боковая составляющая ветра справа-налево

б) Ослабевающая боковая составляющая ветра справа-налево

Рис. 4-9. Воздействие сдвига бокового ветра на воздушное судно при предполагаемом невмешательстве пилота

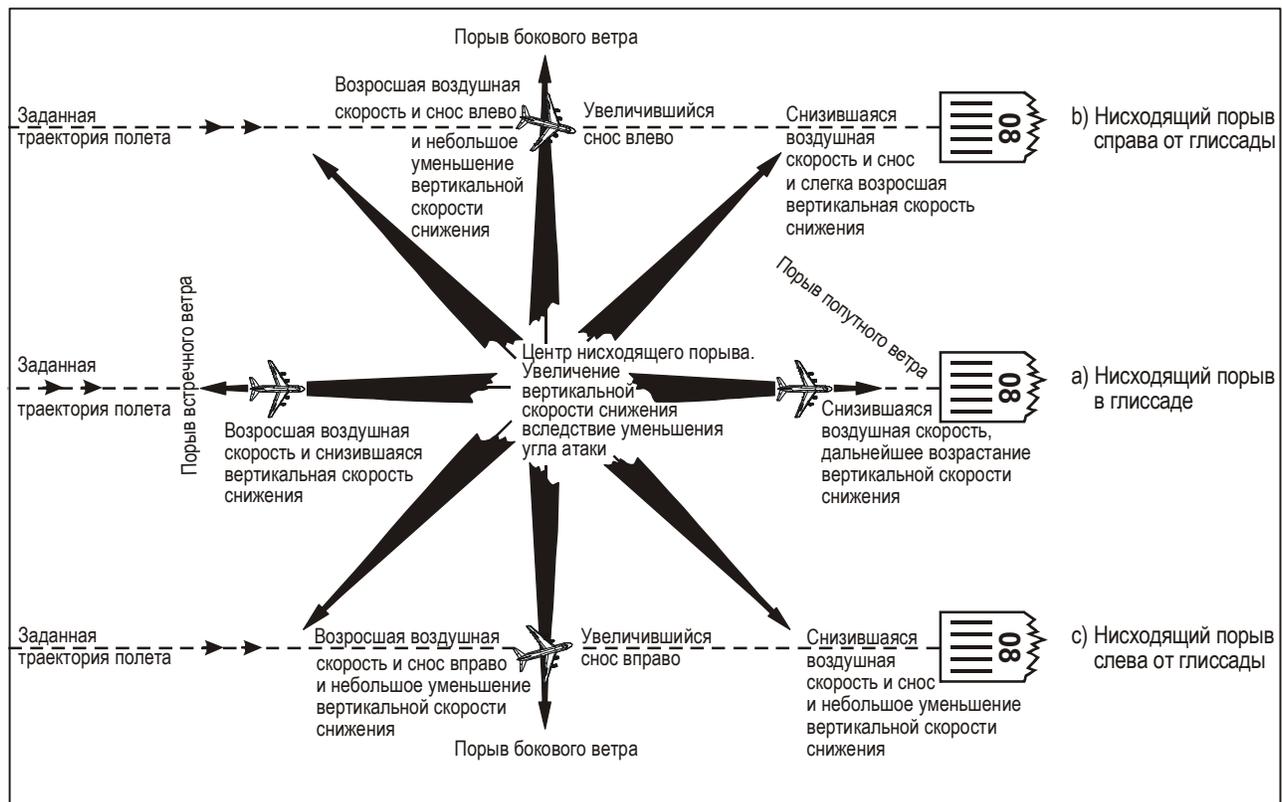


Рис. 4-10. Воздействие на воздушное судно, производящее посадку через зону нисходящего порыва, в трех местах расположения последнего относительно глиссады при предполагаемом невмешательстве пилота (вид сверху)

создать эквивалентную скороподъемность путем увеличения тяги и угла тангажа. Последовательность событий при предполагаемом невмешательстве пилота и начальная реакция воздушного судна на сдвиг при фиксированном положении органов управления в нисходящем потоке и при попутном ветре показаны соответственно на рис. 4-11 и 4-12.

4.2.11 Если нисходящий порыв находится в стороне от траектории полета, прямое воздействие на воздушное судно, будучи по-прежнему потенциально серьезным, обычно не будет настолько сильным, как при прохождении воздушного судна более или менее непосредственно под нисходящим порывом (рис. 4-10 b) и c)). Это связано с тем, что в этих случаях придется иметь дело в меньшей степени с вертикальной составляющей, а в большей степени – с боковой составляющей ветра. Однако, поскольку нисходящие порывы/микрпорывы часто встречаются "семействами", если даже воздушному судну посчастливится обойти кромку нисходящего порыва, рекомендуется все же уйти на второй круг на случай наличия других нисходящих порывов, вполне могущих оказаться как раз на пути воздушного судна. Такие последовательные события в зоне нисходящего порыва как увеличение воздушной скорости, уменьшение и изменчивость угла атаки и уменьшение воздушной скорости все из которых могут происходить в течение всего лишь тридцати секунд, представляют для пилота чрезвычайно сложную и опасную ситуацию. Воздушное судно может также встретиться с нисходящим порывом, находясь еще на ВПП в процессе разбега перед отрывом. При таких обстоятельствах вряд ли важно, где именно нисходящий порыв появляется на ВПП, поскольку во всех случаях он создает для пилота серьезные проблемы. Если нисходящий порыв ударяет в ВПП впереди воздушного судна, то, хотя вначале воздушная скорость будет нарастать быстрее нормы в силу встречного ветра от истечения потока, после отрыва воздушному судну придется пересечь последовательно зону нисходящего потока и попутного ветра от истечения потока. Это может быть наихудшим из возможных стечений обстоятельств, так как на взлете режим тяги воздушного судна уже является близким или равным максимальному уровню, и скорее всего оно обладает сравнительно большой массой. Пилоту предстоит решать, достаточной ли будет длина полосы для прерванного взлета или же лучше продолжать взлет. Подобная ситуация может складываться, если

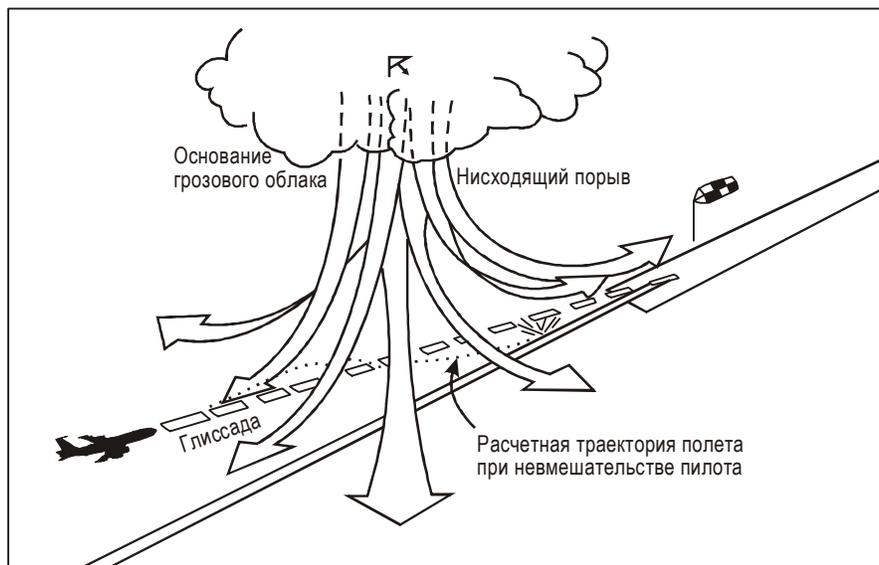


Рис. 4-11. При посадке с прохождением через нисходящий порыв происходит изменение траектории полета
(Мелвин, 1977 г.)

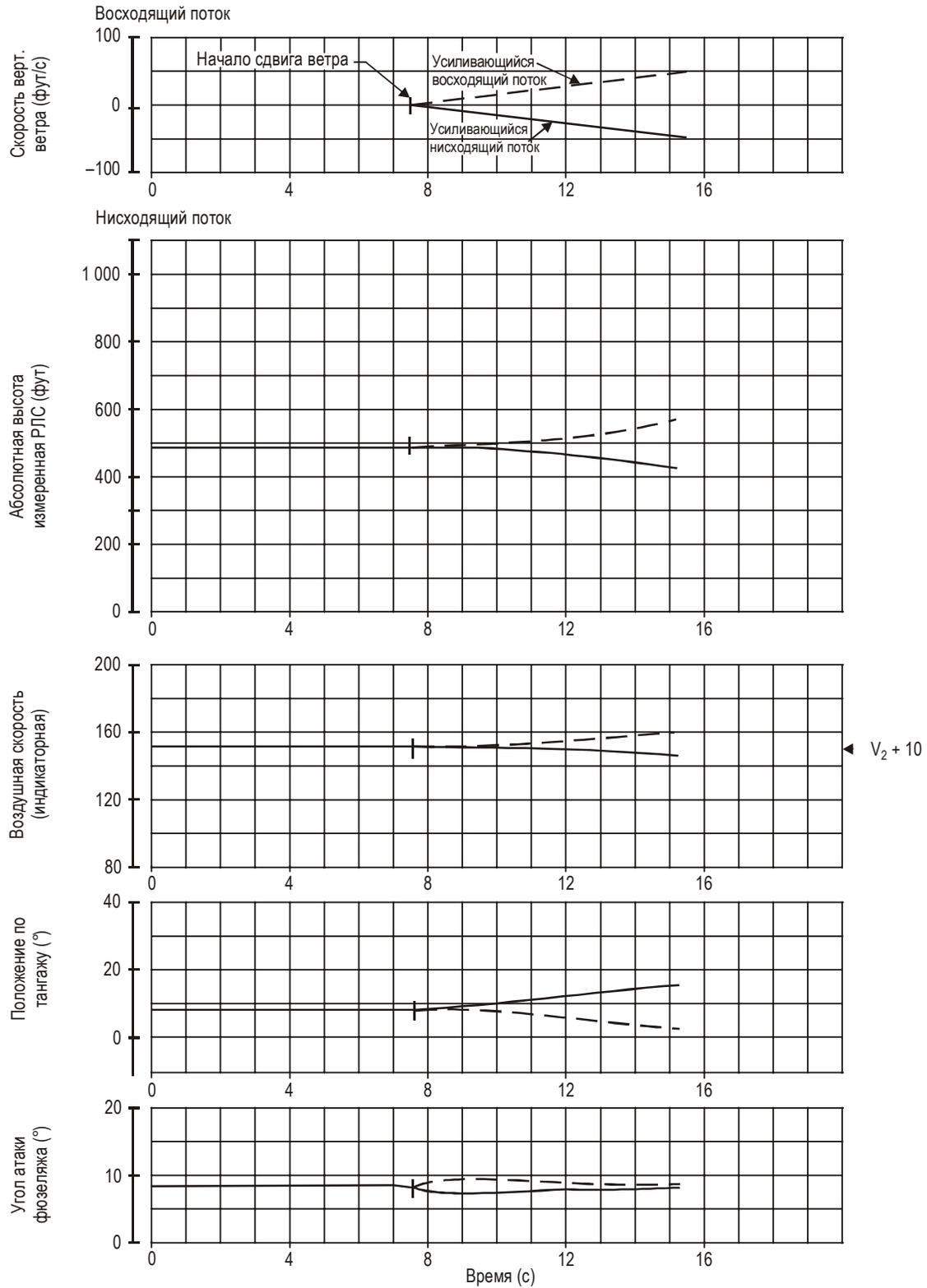


Рис. 4-12. Начальная реакция ВС при фиксированном положении органов управления на воздействие вертикальных составляющих ветра (восходящий/нисходящий поток)
(Учебное пособие ФАУ по сдвигу ветра, 1987 г., адаптировано ИКАО)

нисходящий порыв находится позади воздушного судна перед его отрывом. В этом случае внезапный попутный ветер может не позволить воздушному судну развить необходимую для взлета воздушную скорость на располагаемой длине ВПП. Эти и другие проблемы, а также меры, которые может предпринимать пилот для их решения, подробно рассматриваются в разделе 4.3.

4.2.12 В пп. 3.5.8–3.5.10 описываются основные характеристики фронта порывов. Встреча с фронтом порывов может произойти на значительном расстоянии от порождающей его грозы, особенно в том случае, когда фронты порывов образуются линиями шквалов. Фронты порывов могут служить причиной внезапных и совершенно неожиданных изменений приземного ветра при посадке и взлете. Для большинства случаев соприкосновения воздушных судов с фронтами порывов характерно усиление встречного ветра и, следовательно, появление сдвига, повышающего характеристики, главным образом, в силу того, что воздушное судно, как правило, летит против ветра. Однако имеют место случаи, когда фронты порывов вызывали появление сильного и неожиданного сдвига бокового ветра, и нет причин полностью сбрасывать со счетов возможность вызываемого фронтом порывов усиления попутного ветра, особенно при взлете.

4.2.13 В п. 3.5.27 упоминается о возможных последствиях для воздушного судна при его прохождении через торнадо или зону его следа. Конкретный подобный случай, детально документированный Роучем и Файндлейтером (1983),¹⁰ относится к гибели воздушного судна "Фоккер Ф-28", вылетевшего в 16:04 (UTC) в октябре 1981 г. и следовавшего по маршруту Эйндховен, Нидерланды. Исходя из данных расследования, Роуч и Файндлейтер указывают, что "в данном районе имели место грозы и воздушное судно при полете на высоте 900 м (3000 уз) попало в одну из них спустя несколько минут после взлета. Вслед за кратковременным периодом умеренной турбулентности в облачности воздушное судно внезапно встретилось с исключительно сильной турбулентностью, в результате которой у него отделилось правое крыло и в 16:12 (UTC) воздушное судно разбилось вблизи Мурдейка, около 25 км к юго-востоку от Роттердама; все люди, находившиеся на борту, погибли". За несколько минут до катастрофы было сообщено о появлении торнадо в окрестностях к западу от Мурдейка, и с полицейского катера удалось сделать снимки торнадо, а затем, менее чем через минуту, дыма над местом катастрофы. Исходя из этих и других данных, Управление гражданской авиации Нидерландов заключило, что, по всей вероятности, воздушное судно попало в связанную с торнадо область циркуляции воздушной массы в зоне облачности вскоре после того, как воронка торнадо поднялась над землей.

4.3 ЛЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В УСЛОВИЯХ СДВИГА ВЕТРА И ИМЕЮЩИЕСЯ В РАСПОРЯЖЕНИИ ПИЛОТОВ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СДВИГА ВЕТРА И ВЫХОДА ИЗ СОЗДАВШЕГОСЯ ПОЛОЖЕНИЯ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.3.1 Прежде чем пилот сможет использовать описываемую в пп. 4.3.42–4.3.71 технику пилотирования для восстановления нормального положения, он должен быть в состоянии определить, что его воздушное судно встретилось со сдвигом ветра. Существует неизбежное запаздывание по времени между моментами, когда пилот впервые замечает признаки сдвига ветра, распознает их, использует соответствующие приемы для выхода из создавшегося положения, и моментом, когда воздушное судно реагирует на это надлежащим образом. Сокращение запаздывания по времени до минимума означает раннее распознавание пилотом условий сдвига ветра и применение им без колебаний рекомендуемых приемов выхода из этих условий.

4.3.2 Время распознавания и реакции зависит главным образом от подготовки, благодаря которой пилот приобретает навыки быстрого обнаружения первого признака сдвига ветра, и

безбоязненного применения приемов для выведения воздушного судна из опасного положения. Распознавание признаков сдвига ветра также играет важную роль в том, что оно позволяет пилоту избегать встречи с ним. Дальнейшее рассмотрение связанных с этим вопросов будет поэтому организовано в такой последовательности: РАСПОЗНАВАНИЕ – ИЗБЕГАНИЕ – ПРЕДОСТОРОЖНОСТЬ – ВОССТАНОВЛЕНИЕ. Последовательность решений и действий пилота применительно к условиям сдвига ветра показана в виде схемы на рис. 4-13. Указание на встречу воздушного судна со сдвигом ветра может быть получено от бортовых приборов, специального бортового оборудования предупреждения о сдвиге ветра, посредством переданных предупреждений и оповещений о сдвиге ветра и из сообщений о наличии сдвига ветра, поступивших от других пилотов, а также на основе внешних метеорологических признаков. Кроме того, способность пилота быстро распознать значение показаний приборов и метеорологических признаков сдвига ветра зависит от ряда таких факторов, как заблаговременное предупреждение пилота об ожидаемом сдвиге ветра и вследствие этого его готовности к встрече с этим явлением, а также степень представленности темы о сдвиге ветра в программе подготовки пилота (в частности, частота занятий по отработке техники пилотирования при сдвиге ветра на тренажере и время, прошедшее с момента последнего проведения таких занятий (см. главу 6)).

РАСПОЗНАВАНИЕ СДВИГА ВЕТРА

Внешние метеорологические признаки

4.3.3 Распознавание возможного присутствия сдвига ветра по внешним метеорологическим признакам вблизи аэропорта позволяет пилоту принять заблаговременное соответствующее решение для того, чтобы избежать попадания в зону его местонахождения посредством ухода на второй круг или задержки захода на посадку или взлета до улучшения условий. И даже при принятии решения продолжать соответствующий этап полета распознавание внешних признаков сдвига ветра должно заострить внимание пилота на ходе выполнения посадки или взлета, заставляя его более тщательно следить за показаниями бортовых приборов. Внешними признаками, непосредственно наблюдаемыми пилотом, являются следующие:

- a) сильный, порывистый приземный ветер, особенно при расположении аэродрома вблизи холмов или наличии сравнительно больших построек вблизи ВПП, указывающий на возможность местного сдвига ветра и турбулентности (см. п. 3.2.1);
- b) чечевицеобразное облако (ровное высокослоистое облако в форме линзы), указывающее на наличие стоячих волн, обычно в наветренную сторону от горы (см. пп. 3.2.8 и 3.2.9);
- c) "вирга", т. е. осадки, выпадающие из основания облаков, но испаряющиеся, не достигнув земли (особенно из конвективных облаков), поскольку нисходящие потоки могут сохраняться и достигать земли, хотя сами осадки испарились (см. пп. 3.5.6 и 3.5.7);
- d) шквалистое облако, окаймляющее основание грозы и движущееся впереди пояса дождя и указывающее на наличие фронта порывов (см. п. 3.5.10);
- e) участки вздымаемой ветром пыли, особенно имеющие кольцеобразную форму, расположенные под конвективными облаками и указывающие на присутствие нисходящего порыва (см. п. 5.1.2 и рис. 3-16);
- f) реакция ветровых конусов на ветер различных направлений;

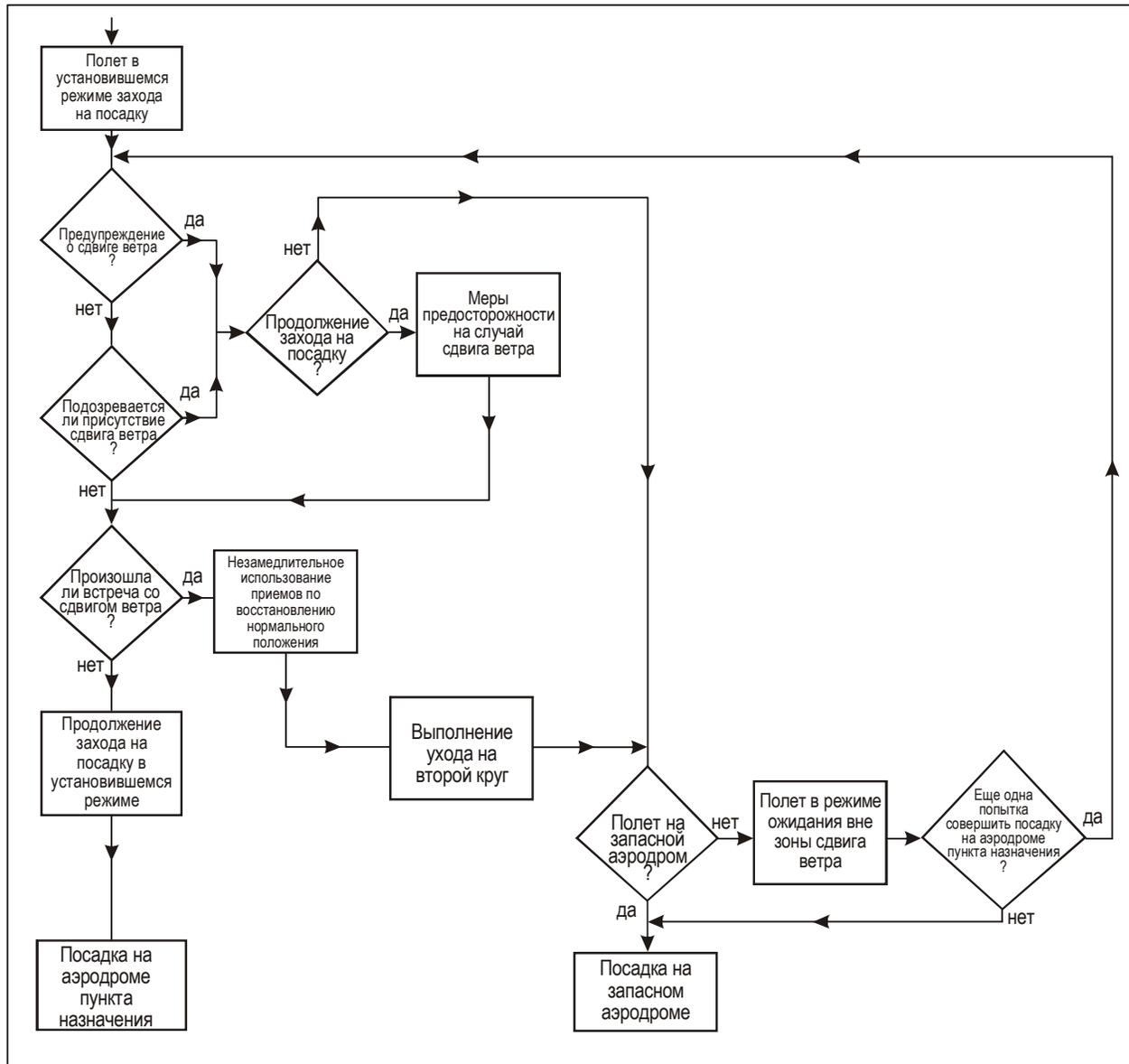


Рис. 4-13. Схема последовательности решений и действий пилота в отношении сдвига ветра

- г) шлейфы дыма, срезанные так, что верхние и нижние части движутся в различных направлениях;
- h) грозы, при которых всегда следует считать возможным присутствие опасного сдвига ветра.

Значение какого-либо из вышеприведенных признаков для выполнения взлетно-посадочных операций на аэродроме должно оцениваться на основе каждого конкретного случая в зависимости от близости рассматриваемого явления к коридорам взлета и посадки.

4.3.4 Предупреждения и оповещения о сдвиге ветра, передаваемые по аэропорту, описаны вместе с примерами в главе 5. Они служат для того, чтобы подготовить пилота к возможной встрече со сдвигом ветра и позволить ему принять соответствующие меры. В аэропортах, не оборудованных системами дистанционного зондирования для обнаружения сдвига ветра, которые по-прежнему будут составлять большинство, должны передаваться предупреждения, которые, по всей вероятности, будут главным образом основываться на донесениях с борта. Всем пилотам, следовательно, надлежит, при наличии возможности, сообщать о сдвиге ветра при выполнении захода на посадку и посадки, а также во время взлета и набора высоты в соответствии с примерами, приведенными в главе 5.

Показания бортовых приборов и/или сигналы бортового оборудования

4.3.5 Что касается признаков, наблюдаемых из кабины экипажа, они могут определяться по показаниям приборов, а на воздушных судах, оснащенных соответствующим оборудованием, и по данным бортовых систем сигнализации о сдвиге ветра. Распознавание ситуации с присутствием сдвига ветра по поведению бортовых приборов во время захода на посадку намного облегчается, если для пилота стало привычным выполнять заход на посадку с устойчивым режимом. Такой заход при устойчивом режиме с постоянными, насколько возможно, значениями воздушной скорости, скорости снижения (вертикальной скорости) и угла тангажа помогает пилоту быстро определить любые отклонения этих параметров от нормы. Применяемая при заходе на посадку с устойчивым режимом техника пилотирования заключается в как можно более раннем установлении воздушного судна на глиссаде в посадочной конфигурации с выдерживанием соответствующей воздушной скорости, угла тангажа и, следовательно, вертикальной скорости снижения путем плавного манипулирования органами управления тягой и рулем высоты вплоть до этапа выравнивания. Если при полете воздушного судна не выдерживается устойчивый режим захода, чрезвычайно трудно определить какие-либо, кроме самых грубых, отклонения воздушной скорости, положения на глиссаде и вертикальной скорости снижения, происходящие из-за сдвига ветра. Вероятно, все сводится только к грамотному пилотированию, но эти навыки могут помочь сберечь драгоценные секунды при попадании в условия сдвига ветра и их следует осваивать с самого *начального* этапа летной подготовки.

4.3.6 Признаками сдвига ветра, которые пилоту следует замечать при слежении за показаниями приборов, являются существенные изменения воздушной скорости, положения относительно глиссады при посадке и вертикальной скорости (скорости набора высоты/скорости снижения), а также величины тяги. Значительные изменения величины тяги, необходимые для сохранения положения на глиссаде, зачастую являются первым признаком сдвига ветра. Слежение за показаниями величины тяги, таким образом, чрезвычайно важно, особенно при использовании автомата тяги. Чрезмерные и внезапные отклонения от заданной траектории полета также могут замечаться по вариометру, индикатору приемника глиссадного радиомаяка, высотомеру или по сигналу системы предупреждения о сближении с землей. Бортовой метеорологический радиолокатор может способствовать обнаружению и обходу стороной конвективных очагов. Вышеприведенные настораживающие признаки доступны для распознавания пилотам большинства транспортных воздушных судов, а на воздушных судах, оснащенных бортовой системой сигнализации о сдвиге ветра, пилот обеспечивается возможностью получения дополнительного предупреждения. При наличии любого из признаков, указывающих на присутствие условий сдвига ветра на малых высотах при заходе на посадку и посадке, пилот должен решать, следует ли задержать заход или, при попадании в условия сдвига ветра, уходить на второй круг. Перед взлетом решение пилота о его выполнении или откладывании будет в значительной степени зависеть от наличия внешних признаков, указывающих на сдвиг ветра. Присутствие сдвига ветра можно также обнаруживать по чрезмерному нарастанию воздушной скорости во время разбега для взлета. Если сдвиг ветра обнаружен на раннем этапе разбега, может оказаться целесообразным прекратить взлет.

4.3.7 Как часть учебного пособия ФАУ по сдвигу ветра (см. таблицу 4-1) были разработаны субъективные инструктивные указания по оценке относительных и совокупных вероятностей разнообразных наблюдаемых признаков конвективного сдвига ветра в помощь пилоту при принятии соответствующих решений с тем, чтобы избежать встреч со сдвигом ветра. Эти вероятности классифицируются следующим образом:

БОЛЬШАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ: Наблюдаемому явлению необходимо уделить предельное внимание. Целесообразно принять решение для того, чтобы избежать встречи со сдвигом ветра (т. е. решение об изменении маршрута или о задержке).

СРЕДНЯЯ ВЕРОЯТНОСТЬ: Следует рассмотреть возможность принятия вышеуказанного решения. Целесообразно принять меры предосторожности.

МАЛАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ: Наблюдаемое явление следует принять в расчет, но вышеуказанное решение обычно не предписывается.

4.3.8 В таблице 4-1 указывается степень вероятности, связанной с каждым отдельным наблюдением. Признаки сдвига ветра следует рассматривать в совокупности, и если наблюдаются более чем один признак сдвига ветра, общая оценка вероятности может быть повышена в целях отражения всей совокупности наблюдений, как это показано на основе следующего примера:

Пример. При подходе к аэродрому назначения наблюдается "ВИРГА", исходящая из облаков с высокой нижней кромкой над летным полем (СРЕДНЯЯ ВЕРОЯТНОСТЬ). На начальном этапе захода на посадку получено донесение с борта, в котором указывается, что у другого самолета только что произошло уменьшение воздушной скорости на 10 уз на конечном этапе захода на посадку на этом же аэродроме (СРЕДНЯЯ ВЕРОЯТНОСТЬ). Следовательно, было бы правильным поднять уровень рассмотрения решения относительно принятия полного комплекса мер, чтобы избежать встречи со сдвигом ветра, до уровня БОЛЬШОЙ ВЕРОЯТНОСТИ (указывающей на целесообразность принятия такого решения).

4.3.9 Ориентировочные данные, приводимые в таблице 4-1, применимы к полетам в районе аэропорта (в пределах 3 миль от места взлета или посадки вдоль намеченной траектории полета до высоты 300 м (1000 фут) AGL). Хотя встреча с условиями погоды, указываемыми в таблице 4-1, на высотах более 300 м (1000 уз) может не носить столь критический характер в отношении траектории полета, тем не менее, такие встречи могут быть чреваты другими видами опасности, связанными с особыми условиями погоды. В этой связи пилотам настоятельно рекомендуется при определении дальнейшего хода действий проявлять осторожность. Пользование таблицей 4-1 не может освободить от обязанности применять здравый смысл при принятии решений о мерах уклонения от указанных встреч.

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ

4.3.10 В случае, если пилот, тщательно взвесив всю имеющуюся информацию, принимает решение продолжать заход на посадку или выполнять взлет, ему следует подготовиться к возможным встречам со сдвигом ветра на основе принятия мер предосторожности, изложенных в руководствах по летной эксплуатации воздушных судов и руководствах по производству полетов авиакомпаний. Пилотам не следует действовать, исходя из предположения, что их конкретное воздушное судно может справиться с любыми сдвигами ветра, поскольку опыт со всей очевидностью показывает, что это не так. Пример таких мер приводится в выдержке из руководства по летной эксплуатации самолета В-737 (добавление 10) под заголовком "Предотвращение". Меры предосторожности применительно к заходу на посадку и посадке направлены на обеспечение

посадки воздушного судна с максимально возможным резервированием на случай использования приемов по восстановлению нормального положения или ухода на второй круг, которое может оказаться необходимым применить путем выбора того или иного положения посадочных закрылков в зависимости от конкретных обстоятельств и обеспечения запаса воздушной скорости для противодействия данной максимальной силе ветра и т.д. Подобным же образом меры предосторожности при выполнении взлета включают использование максимальной тяги и самой длинной пригодной для использования ВПП. Описываемые в настоящей главе меры предосторожности и приемы по восстановлению нормального положения взяты из методики, разработанной как часть Учебного пособия ФАУ по сдвигу ветра (1987)¹¹ и воспроизводятся с разрешения ФАУ. Учебное пособие было разработано фирмой "Боинг" (главным подрядчиком) с участием фирм "Дуглас" и "Локхид" в разработке технических заключений, содержащих заверения в применимости пособия "для самого широкого диапазона реактивных транспортных воздушных судов, создаваемых в Соединенных Штатах Америки" (см. таблицу 4-2). Учебное пособие включает следующее Уведомление об отказе и освобождении от ответственности:

“УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ОТКАЗЕ ОТ ПРЕТЕНЗИЙ И ОСВОБОЖДЕНИИ ОТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Настоящий документ "Обзор сдвига ветра для руководящих действий", сопутствующие документы "Справочник пилота по сдвигу ветра", "Программа подготовки по примерам сдвига ветра", "Подтверждающие данные о сдвиге ветра" и видеопособия "Как избегается сдвиг ветра" и "Сдвиг ветра: что может сделать экипаж" были подготовлены в соответствии с основным контрактом DFTA01-86-C-00005, заключенным Федеральным авиационным управлением с компанией "Боинг", в качестве учебного пособия для подготовки к полетам в условиях сдвига ветра. Сведения, содержащиеся в настоящем и сопутствующих материалах, были извлечены из информации, первоначально подготовленной для самолета "Боинг-727", и обеспечивают составление программы основной подготовки; при этом фирмами "Боинг", "Макдоннел-Дуглас" или "Локхид" были разработаны и утверждены дополнительные рекомендации в отношении их соответствующих воздушных судов. В них, в частности, указывается, как эта программа может быть приспособлена для использования применительно к конкретным коммерческим транспортным воздушным судам, изготавливаемым фирмами "Боинг" (727, 737, 747, 757 и 767), "Макдоннел-Дуглас" (DC-9, MD-80 и DC-10) и "Локхид" (L-1011). Всякое использование этого обзора по сдвигу ветра для руководящих действий в любых целях, касающихся иных воздушных судов или условий, кроме указанных выше, не санкционировано и может привести к неправильной эксплуатации воздушного судна, потере управления воздушным судном, потере управления воздушным судном, повреждениям и потере воздушного судна, телесным повреждениям и гибели людей. Всякое использование, переработка и/или использование после переработки материала настоящего обзора по сдвигу ветра для руководящих действий любой организацией в любых целях по отношению к иным, кроме указанных выше, воздушным судам, условиям или программам подготовки в полной мере оставляются на риск организации, ответственной за использование, переработку и/или использование переработки настоящего обзора по сдвигу ветра для руководящих действий, и эта организация, таким образом используя, перерабатывая и/или используя переработку, принимает на себя такой риск и отказывается от всяких претензий, которые оно может иметь к "Боинг компани", "Макдоннел-Дуглас корпорейшн", "Локхид корпорейшн", "Юнайтед эрлайнз", "Авиэйшн уэзер ассошиэйтс", "Хеллуэл инк.", их отделениям, дочерним предприятиям и филиалам и их официальным лицам, директорам, субподрядчикам и служащим и освобождает их от какой-либо ответственности, будь то на основании контракта (включая выраженные и подразумеваемые претензии к гарантии, но не ограничиваясь ими), гражданско-правового деликта (включая претензии в связи с небрежностью и в отношении строгого соблюдения обязательств, но не ограничиваясь ими) или прочего, что может возникнуть при использовании, переработке и/или использовании такой переработки. Любая такая организация (включая без ограничений любую фирму-изготовитель иных воздушных судов или эксплуатанта с иной программой подготовки, но не правительство Соединенных Штатов Америки, которая использует настоящий обзор по сдвигу

ветра для руководящих действий или перерабатывает его и/или использует результаты его переработки применительно к таким иным воздушным судам, условиям или программам подготовки, тем самым соглашается гарантировать от убытка и освободить "Боинг компани", "Макдоннел-Дуглас корпорейшн", "Локхид корпорейшн", "Юнайтед эрлайнз", "Авиэйшн уэзер ассошиэйтс", "Хелиуэлл инк.", их отделения, дочерние предприятия и филиалы и их официальных лиц, директоров, агентов, субподрядчиков и служащих от какой-либо ответственности, будь то на основании контракта (включая выраженные и подразумеваемые гарантийные претензии, но не ограничиваясь ими), гражданско-правового деликта (включая претензии в связи с небрежностью и в отношении строгого соблюдения обязательств, но не ограничиваясь ими) или каким-либо иным образом при таком использовании, переработке и/или использовании результатов такой переработки.

Невзирая на любое другое положение настоящего контракта, имеющее иной смысл, ФАУ принимает изложенные в нем пункты с приложенным подрядчиком отказом принимать претензии и соглашается не исключать из него такой отказ от ответственности ни по какой причине."

4.3.11 Лучшим проявлением предосторожности является принятие мер, направленных на то, чтобы избежать встреч со сдвигом ветра. Однако могут возникнуть такие моменты, когда признаки сдвига ветра не являются столь явными, чтобы требовать задержки в выполнении захода на посадку или взлета, а могут быть истолкованы только как свидетельствующие о наличии подходящих условий для сдвига ветра. В этих обстоятельствах пилотам следует иметь в виду следующий шаг – использование летным экипажем мер предосторожности. Разработан ряд предупредительных приемов, которые могут применяться экипажем для ослабления воздействия сдвига ветра в случае встречи с непредугаданным сильным сдвигом ветра на взлете или при заходе на посадку. Эти меры предосторожности включают учет величины тяги, выбора ВПП, выбора положения закрылков, воздушной скорости, использования автопилота, автомата тяги и командного пилотажного прибора. Они были разработаны на основе детального анализа и моделирования условий пилотирования в условиях нескольких встреч со сдвигом ветра в виде микропорыва. Во многих случаях имели место компромиссы (т. е. улучшение одних параметров за счет ухудшения других), и выработать "наилучшую" рекомендацию для всех условий не представилось возможным.

4.3.12 Использование мер предосторожности даже наряду с самой оптимальной техникой пилотирования, применяемой для приведения воздушного судна в нормальное положение, не могут гарантировать успешного преодоления многих микропорывных сдвигов ветра. Важно осознать, что каждая из рекомендуемых мер предосторожности имеет относительно малое влияние на исход непреднамеренного попадания в условия сдвига ветра. Следовательно, применение мер предосторожности не должно заменять здравого суждения пилота при решении им вопроса о том, будет ли безопасным продолжение или прекращение маневра. Использование мер предосторожности не следует считать превалирующим фактором для решения дилеммы "продолжать/не продолжать" в пользу "продолжать".

Меры предосторожности при взлете

Величина тяги

4.3.13 Для взлета следует использовать максимальную номинальную тягу. Это укорачивает разбег и уменьшает риск выкатывания за пределы ВПП. Полная тяга также обеспечивает наилучшую скороподъемность, что увеличивает располагаемую высоту при необходимости применить какой-либо маневр для восстановления нормального положения в случае его нарушения. И, наконец, взлет при полной тяге может устранить необходимость изменения тяги при указанном восстановлении нормального положения, чем достигается максимальная быстрота разгона и уменьшение нагрузки на экипаж.

Таблица 4-1. Ориентировочные данные для определения вероятности сдвига ветра при микропорыве

<i>Наблюдаемое явление</i>	<i>Вероятность сдвига ветра</i>
Наличие конвективных условий погоды вблизи запланированной траектории полета:	
— с сильным местным ветром (сообщения АДП или наблюдаемые поднятая пыль, кольца пыли, признаки, напоминающие торнадо, и т. п.)	Большая
— с сильными осадками (наблюдаемые визуально или по РЛС контуры, красная или затухающая теневая зона)	Большая
— с ливневыми дождями	Средняя
— с молниями	Средняя
— с "виргой"	Средняя
— с умеренной (или повышенной) турбулентностью (по сообщениям или по показаниям РЛС)	Средняя
— с расхождением температуры/точки росы в пределах между 17 и 28°С	Средняя
Сигнализация бортовой системы обнаружения сдвига ветра (сообщенная или наблюдаемая)	Большая
Донесение пилота о падении или нарастании воздушной скорости:	
— на 30 км/ч (15 уз) или более	Большая
— менее чем на 30 км/ч (15 уз)	Средняя
Предупреждение LLWAS/изменение скорости ветра:	
— на 10 м/с (20 уз) или более	Большая
— менее чем на 10 м/с (20 уз)	Средняя
Прогноз конвективных условий погоды	Малая

Примечание. Приведенные ориентировочные данные применимы к выполнению полетов вблизи аэропорта (в пределах 3 миль от точки взлета или посадки вдоль запланированной траектории полета и не выше 1000 фут AGL). Признаки следует рассматривать в совокупности. При наблюдении более одного признака вероятность следует повышать. Опасность возрастает с приближением конвективных условий погоды. Оценку погоды следует вести непрерывно.

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ. В настоящее время не существует средств определения в количественном выражении присутствия или интенсивности сдвига ветра при микропорыве. При определении дальнейшего хода действий пилотам настоятельно рекомендуется проявлять осторожность.

Выбор ВПП

4.3.14 Следует использовать наиболее длинную пригодную ВПП, которая не проходит через районы предполагаемого сдвига ветра. Выбор пригодной ВПП включает оценку опасности препятствий после отрыва и ограничений из-за бокового или попутного ветра. Это обеспечивает максимум располагаемой длины ВПП для разгона до скорости подъема носового колеса и может в результате обеспечить пролет с большим запасом высоты над землей в конце ВПП и в профиле набора высоты. При принятии решения прекратить взлет остается больше располагаемой длины ВПП для остановки воздушного судна.

Выбор положения закрылков для взлета

4.3.15 Выбор положения закрылков для взлета зависит от типа воздушного судна. Следует учитывать возможность использования приводимых в таблице 4-2 положений закрылков, если нет ограничений по высоте пролета над препятствиями и/или по градиенту набора высоты.

Исследования возможных положений закрылков для взлета показали, что больший угол отклонения закрылков обеспечивает наилучшие летные характеристики в условиях сдвига ветра на ВПП. Однако при меньших углах отклонения демонстрировались наилучшие характеристики при попадании в условия сдвига ветра в воздухе (после отрыва). Приведенные в таблице 4-2 положения закрылков для взлета обеспечивали относительно хорошие характеристики в широком диапазоне условий; однако необходимо указать, что различие летных характеристик при неодинаковом положении закрылков невелико.

Повышенная воздушная скорость

4.3.16 Повышенная воздушная скорость в момент подъема носового колеса увеличивает способность воздушного судна преодолевать условия сдвига ветра после отрыва. Повышенная воздушная скорость улучшает траекторию полета, уменьшает потенциальную возможность полета на скоростях, близких к скоростям, при которых срабатывает сигнализатор приближения к срыву, и уменьшает нагрузку на пилота.

4.3.17 Может показаться, что задержка с подъемом носового колеса для достижения большей воздушной скорости повышает риск выкатывания за располагаемые пределы ВПП. Однако с учетом метода расчета достижения указанной повышенной скорости при подъеме носового колеса это просто использование ВПП в условиях предполагаемой загруженности воздушного судна до предельной массы для данной длины ВПП. Если взлет производится в условиях предельной длины ВПП, риск выкатывания за располагаемую длину ВПП повышается из-за отсутствия запаса длины ВПП. Если сдвиг ветра приводит к уменьшению воздушной скорости до значения ниже минимального потребного для отрыва при максимальном располагаемом угле (до касания поверхности ВПП фюзеляжем) тангажа, возможность выкатывания также возрастает. Однако начало подъема носового колеса не позднее чем за 600 м (2000 фут) от конца располагаемой поверхности ВПП уменьшает вероятность выкатывания и обеспечивает максимальный запас энергии после отрыва.

Таблица 4-2. Тип воздушного судна и положения закрылков для взлета

<i>Тип воздушного судна</i>	<i>Взлетное положение закрылков</i>
B727	15
B737	от 5 до 15
B747	20
B757	20
B767	20
DC-9-10	10 или 20
DC-9-20, -30, -40, -50	5 или 15
MD-80	5 или 15
DC-10	5 или 20
L-1011	от 10 до 22

4.3.18 При необходимости использования повышенной V_R (скорости в момент подъема носового колеса) применяется следующая методика расчета и использования этой повышенной скорости:

- a) определить значения скоростей V_1 , V_R и V_2 для фактического значения взлетной массы воздушного судна и положения закрылков. Установить переставные индексы на эти значения воздушной скорости обычным порядком.
- b) определить предельную максимальную массу для длины ВПП и соответствующее значение V_R для выбранной ВПП.
- c) если предельное значение V_R для длины ВПП больше, чем значение V_R для фактической взлетной массы, использовать для взлета повышенную V_R (до 40 км/ч (20 уз выше V_R для фактической взлетной массы)). Индексы воздушной скорости не следует переставлять на повышенные значения.
- d) Осуществлять подъем носового колеса до нормального положения по тангажу при начальном наборе высоты на повышенной V_R и сохранять это положение. Такая методика позволяет получить повышенную скорость начального набора высоты, которая медленно спадает до нормальной скорости начального набора высоты.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Если условия сдвига ветра наступают в момент или после достижения V_R для фактической взлетной массы (по индексу), не следует пытаться ускорить разбег до повышенной V_R , а необходимо без всяких колебаний поднимать носовое колесо. Ни в коем случае не следует затягивать подъем носового колеса далее предела 600 м (2000 фут), остающихся до конца используемой поверхности ВПП (см. пп. 4.3.42–4.3.71, технические приемы восстановления нормального положения).

4.3.19 Если повышенная воздушная скорость перед отрывом не применялась, разгон до воздушной скорости выше нормальной после отрыва не рекомендуется. Уменьшение угла тангажа на малой высоте с целью разгона может создавать опасность при встрече со сдвигом ветра.

Командный пилотажный прибор

4.3.20 Нельзя использовать командные пилотажные приборы, функционально связанные со скоростью, если они не оборудованы устройством корректировки для восстановления нормального положения при сдвиге ветра.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Функционально связанный со скоростью командный пилотажный прибор, не имеющий устройства корректировки для восстановления нормального положения при сдвиге ветра, может дать команду об изменении угла тангажа с целью сохранения заданного значения воздушной скорости независимо от ухудшающейся траектории полета. Такое указание может противоречить надлежащим действиям для восстановления нормального положения при сдвиге ветра. Подобные результаты командного пилотажного прибора должны игнорироваться, если необходимы действия по восстановлению нормального положения, и при наличии времени прибор должен быть отключен пилотом, не занятым пилотированием (ПНЗП).

4.3.21 В некоторых командных пилотажных приборах предусмотрен режим выбора положения по тангажу. Если этот режим используется в условиях нормальной эксплуатации, то он может эффективно применяться при попадании в условия сдвига ветра, если только выбранное положение по тангажу не выходит за допустимые пределы. Однако при возникновении потребности в установлении иного угла тангажа, нежели выбранный, следует пренебречь указаниями командного

пилотажного прибора, и при наличии времени ПНЗП должен отключить его. В таблице 4-3 приводятся основные меры предосторожности при взлете.

Таблица 4-3. Резюме мер предосторожности при взлете

-
- Использовать при взлете максимальную номинальную тягу
 - Использовать самую длинную пригодную ВПП
 - Учесть использование рекомендуемого положения закрылков
 - Учесть использование повышенной скорости в момент подъема носового колеса
 - Не пользоваться командным пилотажным прибором, функционально связанным со скоростью
-

Меры предосторожности при заходе на посадку

Устойчивый режим захода на посадку

4.3.22 Устойчивый режим захода следует установить не позднее достижения высоты 300 м (1000 фут) AGL для повышения способности распознавания сдвига ветра.

Управление тягой

4.3.23 Уменьшения тяги следует свести до минимума. Благоразумнее выдержать короткую паузу для оценки тенденции скорости, а не компенсировать сразу же возрастание воздушной скорости уменьшением тяги. Если происходит сдвиг попутного ветра и начато восстановление исходного положения, наличие дополнительной скорости и более раннего запаса тяги (в связи с тем, что двигатели будут увеличивать обороты с большего числа) будет полезным. Если используются автоматы тяги, необходимо следить за тем, чтобы не происходило ненужного уменьшения тяги. В отсутствие сдвига попутного ветра такие действия могут привести к превышению нормальной скорости захода и с этим, возможно, придется считаться на этапе посадки.

Выбор ВПП

4.3.24 Следует использовать наиболее пригодную ВПП, которая позволяет избежать вхождения в район предполагаемого сдвига ветра и обеспечивает соблюдение ограничений в отношении бокового и попутного ветра. ВПП с большей длиной обеспечивает наибольший запас при увеличенном пробеге из-за неожиданного ветра и возможной, как следствие, высокой путевой скорости при приземлении. Средства точного (по приборам) захода на посадку и другие средства слежения за выдерживанием глиссады (система визуальной индикации глиссады – VASIS, и т. п.) также желательны, поскольку они могут помочь в распознавании сдвига ветра, предоставляя своевременную, точную информацию об отклонениях от глиссады.

Выбор положения закрылков для посадки

4.3.25 Выбор установки угла отклонения закрылков для посадки зависит от типа воздушного судна. Следует учитывать положения закрылков, указанные в таблице 4-4. Исследования случаев встречи со сдвигом ветра при всех располагаемых посадочных положениях закрылков показали, что рекомендованные в таблице 4-4 положения закрылков обеспечивают наилучшие общие

характеристики по восстановлению нормального положения для широкого диапазона условий сдвига ветра.

Таблица 4-4. Тип воздушного судна и положения закрылков для посадки

<i>Тип воздушного судна</i>	<i>Посадочное положение закрылков</i>
B727	30
B737	от 5 до 30
B747	от 25 до 30
B757	30
B767	30
DC-9-10	*
MD-80	28
DC-10	35
L-1011	33

* Для данной модели должен предусматриваться минимальный угол отклонения закрылков.

Повышенная воздушная скорость

4.3.26 Повышенная воздушная скорость при заходе на посадку улучшает характеристики скороподъемности и уменьшает потенциальную возможность срабатывания сигнализатора приближения к срыву при преодолении непредвиденных условий сдвига ветра.

4.3.27 Если позволяет располагаемая длина ВПП, воздушная скорость может быть увеличена максимум на 40 км/ч (20 уз). Эту повышенную скорость следует сохранять до выравнивания. Касание должно происходить в нормальных пределах зоны приземления – не следует позволять воздушному судну лететь на высоте выдерживания вдоль ВПП.

4.3.28 В силу влияния многих переменных величин не представляется практически возможным точно указать результат влияния превышения нормальной воздушной скорости на 40 км/ч (20 уз) на фактическую дистанцию торможения. Главным фактором может выступать приземный ветер, поскольку на дистанцию торможения скорее влияет путевая скорость, чем воздушная. Если при использовании повышенной воздушной скорости происходит встреча со сдвигом ветра, повышающим характеристики, может понадобиться уход на второй круг из-за недостаточной длины ВПП при более высокой скорости захода на посадку. С другой стороны, если пилот в разумных пределах уверен, что изменения ветра (в силу топографических или характерных местных условий) не приведут к понижению характеристик, может быть излишним применять повышенную скорость захода на посадку.

4.3.29 Необходимо также учитывать и такие другие факторы, влияющие на дистанцию торможения, как наличие и действенность реверса тяги, состояние пневматиков и тормозов, состояние покрытия ВПП и т. д. На сухой ВПП при отсутствии неблагоприятных факторов длина ВПП может обеспечить посадку в зоне приземления с избытком скорости на 40 км/ч (20 уз). В других случаях может потребоваться более длинная ВПП. При наличии сомнений надлежит использовать самую длинную пригодную ВПП, на которой воздушное судно в меньшей степени подвержено опасности при возможном сдвиге ветра.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Повышенная скорость приземления увеличивает дистанцию торможения. Дополнительные 40 км/ч (20 уз) при приземлении могут увеличить дистанцию торможения на 25 % и в некоторых случаях может оказаться превышенным предел тормозных усилий.

Командный пилотажный прибор и/или автопилот и автомат тяги

4.3.30 В процессе захода на посадку желательно в максимальной практической степени использовать командный пилотажный прибор, автопилот и автомат тяги. Эти системы могут способствовать уменьшению нагрузки на пилота, что позволит экипажу уделять больше времени слежению за показаниями приборов и метеорологическими условиями. Однако использование автоматических систем управления полетом, особенно автомата тяги, полезно лишь при надлежащем контроле. При отсутствии такого контроля эти системы могут не позволить пилоту заметить момента начала сдвига ветра, если он не знает в достаточной степени, какие управляющие входные сигналы поступают от этих систем. В таблице 4-5 приводятся основные меры предосторожности при заходе на посадку.

Таблица 4-5. Основные меры предосторожности при заходе на посадку

-
- Установить режим захода не ниже высоты 300 м (1 000 фут) AGL.
 - Свести к минимуму уменьшения тяги.
 - Использовать наиболее пригодную ВПП.
 - Учесть использование рекомендуемого положения закрылков.
 - Учесть использование повышенной скорости захода на посадку.
 - Использовать в процессе захода на посадку автоматические системы управления полетом.
-

Соблюдать установленную стандартную технику пилотирования

4.3.31 Чтобы помочь экипажам заранее распознавать сдвиг ветра, была разработана серия рекомендаций под общим заголовком "стандартная техника пилотирования" (СТП). Эта методика подразделена на две части, озаглавленные соответственно "осведомленность экипажа" и "взаимодействие членов экипажа".

4.3.32 Необходимость заострить внимание на СТП обусловлена признанием того факта, что в большинстве случаев, когда имели место авиационные происшествия из-за сдвига ветра на этапе взлета, угол тангажа воздушного судна был уменьшен ниже значения, обеспечивающего горизонтальный полет. Это происходило, когда воздушное судно и без того снижалось, сближаясь с землей, что указывает на отсутствие у членов экипажа осведомленности относительно траектории полета. Такое отсутствие осведомленности наблюдалось также при исследовании действий пилотов на тренажере при встречах со сдвигом ветра. Традиционные программы подготовки и стандартная летная практика, возможно, не закрепляют надлежащих навыков управления для сохранения положения на траектории полета (навыков траекторного управления полетом), при усвоении которых пилот должен проявлять беспокойство при потере Высоты. Однако на траекторном управлении полетом следует сосредоточить основное внимание, когда приходится иметь дело со сдвигом ветра. Ту часть техники пилотирования, которая предусматривает строгое соблюдение воздушной скорости, необходимо модифицировать в пользу сохранения траектории полета путем управления положением по тангажу.

4.3.33 При применении нижеизложенной СТП при полетах вблизи земли особое внимание обращается на траекторию полета и положение по тангажу. Результатом соблюдения СТП является повышение качества работы экипажа как при выполнении обычных полетов, так и при полетах, в ходе которых произошла встреча со сдвигом ветра. Как на этапе взлета, так и на этапе захода на посадку осведомленность экипажа относительно условий полета и взаимодействие его членов жизненно важны для своевременного распознавания сдвига ветра, особенно ночью или в сложных метеоусловиях.

Готовность экипажа

4.3.34 Для экипажей важно оставаться в состоянии готовности к любому изменению условий, памятуя о том, что для сдвига ветра характерна быстрота возникновения и исчезновения. Самыми опасными встречами со сдвигом ветра оказывались те, при которых экипажи были застигнуты врасплох.

4.3.35 Экипажам следует знать нормальные значения параметров, связанных с выдерживанием траектории полета, в вертикальной плоскости, для более легкого распознавания отклонений, вызванных сдвигом ветра. На этапе взлета эти значения включают положение по тангажу, вертикальную скороподъемность и нарастание воздушной скорости. При заходе на посадку ценную информацию обеспечивают значения воздушной скорости, угла тангажа, вертикальной скорости снижения и величина тяги. Знание этих показателей гарантирует самое быстрое распознавание ухудшения траектории полета.

4.3.36 В ходе взлета и захода на посадку необходимо обращать внимание на колебания воздушной скорости. Такие колебания могут быть первым признаком сдвига ветра. Усилия на штурвале, значительно отличающиеся от ожидаемых во время нормального взлета или ухода на второй круг, могут возникать в результате более низкой, чем расчетная, воздушной скорости или более медленного нарастания воздушной скорости в моменты подъема носового колеса и отрыва. Следует использовать средства индикации вертикального смещения траектории полета для перекрестного контроля командного пилотажного прибора.

4.3.37 При взлете, проходящем на относительно малой высоте (ниже 300 м (1000 фут) AGL), СТП предписывает уделять внимание использованию нормального угла тангажа во время начального набора высоты и в меньшей степени строгому выдерживанию воздушной скорости. Необходимо знать положение по тангажу при начальном наборе высоты со всеми работающими двигателями. Требуется поднимать носовое колесо с нормальной угловой скоростью до этого положения по тангажу во всех случаях выполнения взлета. Свести к минимуму использование уменьшенного угла тангажа для парирования падения воздушной скорости до тех пор, пока не будет обеспечена безопасная высота пролета над местностью и препятствиями.

4.3.38 При заходе на посадку следует избегать значительного уменьшения тяги или применения триммера для парирования внезапного увеличения воздушной скорости, так как за этим может последовать ее уменьшение. Необходимо следить за показателями траектории полета в вертикальной плоскости по таким приборам, как вариометр, высотомер и индикатор смещения от заданной глиссады. Кроме того, сравнение значений путевой и воздушной скорости может обеспечить дополнительную информацию для своевременного распознавания сдвига ветра. Следует установить постоянный режим захода на посадку на высоте не ниже 300 м (1000 фут) AGL.

4.3.39 Высокая рабочая нагрузка и наличие отвлекающих факторов на этапе захода на посадку, особенно в сложных метеоусловиях, могут помешать сосредоточить внимание на приборах, позволяющих вовремя определить ухудшение траектории полета. Кроме того, постепенное увеличение тяги при заходе на посадку может скрыть тенденцию воздушной скорости к снижению.

4.3.40 Экипажам следует быть готовыми к немедленному выполнению рекомендуемых действий по восстановлению нормального положения, если появляются отклонения от заданных условий, превышающие значения, указанные в таблице 4-6. Эти значения следует рассматривать только как ориентировочные данные. Точных критериев установить нельзя. В определенных случаях, когда изменения происходят со значительной быстротой, может оказаться необходимым приступить к восстановительным действиям до того, как будет превышен какой-либо из приведенных выше критериев. Могут иметь место и другие ситуации, когда кратковременные отклонения, в частности, воздушной скорости в результате известных или ожидаемых местных воздействий ветра могут и не являться признаком значительной опасности. Пилот, занятый пилотированием (ПЗП), является ответственным за оценку обстановки и обоснованное определение порядка действий, обеспечивающего наибольшую безопасность полета.

Взаимодействие членов экипажа

4.3.41 Внимание должно быть сосредоточено на пилотировании воздушного судна. При встрече со сдвигом ветра следует в ответ на сообщаемые отклонения от нормы принимать соответствующие меры. ПЗП должен сосредоточить свое внимание на воздушной скорости, вертикальной скорости, высоте, угле тангажа, отклонениях от глиссады и тяге. При обнаружении каких-либо значительных отклонений от нормальных показателей ПЗП немедленно сообщать об отклонении. Такие сообщения должны быть стандартизированы и понятными в кабине экипажа с целью обеспечения своевременного распознавания.

Пример: “Вертикальная скорость снижения: 1200 – воздушная скорость: 115, уменьшается – глиссада: на одно деление ниже.”

В таблице 4-7 приводится краткое описание СТП.

Таблица 4-6. Заданные условия

<i>Взлет/заход на посадку</i>	<i>Заход на посадку</i>
1) ± 15 уз воздушной скорости по прибору	1) отклонение от глиссады на ± 1 деление
2) ± 500 фут/мин вертикальной скорости	2) необычное положение рычага управления двигателем в течение значительного периода времени
3) $\pm 5^\circ$ угла тангажа	

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВЫХОДА ИЗ УСЛОВИЙ СДВИГА ВЕТРА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ НОРМАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ

Общие положения

4.3.42 Главная цель применения технических приемов выхода из условий сдвига ветра и восстановления нормального положения – удерживать воздушное судно как можно дольше в полете в надежде на то, что оно выйдет из зоны сдвига. Было рассмотрено множество разнообразных приемов для установления единой методики, наилучшим образом удовлетворяющей данному условию. Наилучшие результаты были достигнуты при действиях, восстанавливающих исходное заданное положение по тангажу с использованием необходимой тяги. В процессе разработки этой методики было рассмотрено несколько факторов.

Таблица 4-7. Резюме стандартной техники пилотирования

Взлет	Заход на посадку
<ul style="list-style-type: none"> — Знать значения нормального положения по тангажу, скороподъемности, нарастания воздушной скорости — Знать/использовать угол тангажа при начальном наборе высоты со всеми работающими двигателями — Выполнять подъем носового колеса непрерывно с нормальной угловой скоростью — Перепроверять командный пилотажный прибор — Свести к минимуму уменьшения угла тангажа — Следить за показаниями приборов относительно траектории полета вертикальной плоскости, сообщать об отклонениях (ПЗП) — Знать ориентировочные данные для принятия решения, касающегося действий для восстановления нормального положения 	<ul style="list-style-type: none"> — Знать значения нормального положения по тангажу, вертикальной скорости снижения, воздушной скорости, положения рычага управления двигателем — Перепроверять командный пилотажный прибор — Избегать значительного уменьшения тяги — Следить за показаниями приборов относительно траектории полета в вертикальной плоскости, сообщать об отклонениях (ПЗП) — Знать ориентировочные данные для принятия решения, касающегося действий для восстановления нормального положения

4.3.43 Исследования показывают, что встречи со сдвигом ветра происходят не часто и что располагаемое время для начала успешного вывода из опасных условий и восстановления нормального положения составляет всего лишь несколько секунд. Кроме того, в особо напряженной обстановке наблюдение пилота за приборами становится обычно ограниченным, а при чрезвычайных обстоятельствах его внимание может сосредоточиваться всего лишь на одном приборе. И, наконец, мастерство пилотирования, требующееся при выходе из создавшегося при сдвиге ветра положения, невозможно отрабатывать на каждодневной основе. Эти факторы требуют, чтобы технические приемы выхода из условий сдвига ветра и восстановления нормального положения были не только эффективными, но и простыми, легко запоминающимися и общеприемлемыми.

4.3.44 Был проведен обширный анализ, включая оценку со стороны пилотов. Хотя диапазон углов тангажа при восстановлении нормального положения (включая 15° и диапазон углов начального набора высоты со всеми работающими двигателями) обеспечивает хорошую возможность для выхода из широкого разнообразия условий сдвига ветра, угол 15° был выбран в качестве исходного заданного положения по тангажу как для взлета, так и для захода на посадку. Дополнительным преимуществом исходного заданного угла тангажа 15° является то, что он легко вспоминается в аварийных ситуациях и хорошо заметен на индикаторе командного авиагоризонта.

Примечание 1. Заданное положение по тангажу для самолета L-1011:

*взлет = 17,5°;
заход на посадку = 15°.*

Примечание 2. Эксплуатанты, пользующиеся такими заранее вычисленными заданными углами тангажа, как углы тангажа при нормальном выполнении взлета и ухода на второй круг со всеми работающими двигателями, могут использовать эти углы вместо рекомендуемых исходных углов при восстановлении нормального положения.

4.3.45 Хотя при использовании других более сложных технических приемов летные характеристики воздушного судна могут использоваться несколько лучше, эти методы не соответствуют требованиям простоты и легкости запоминания. Результаты оценки показывают, что рекомендуемые приемы представляют простое, эффективное средство выхода из условий сдвига ветра и восстановления нормального положения.

4.3.46 Ниже следует подробное рассмотрение рекомендуемых технических приемов для выхода из зоны действия сдвига ветра. Восстановление нормального положения на этапе как взлета после отрыва, так и захода на посадку разбирается в следующем разделе одновременно, поскольку технические приемы выхода из условий сдвига ветра идентичны для обеих ситуаций. Приемы выхода из условий сдвига ветра на поверхности ВПП рассматриваются еще ниже.

Встреча со сдвигом ветра во время взлета после отрыва и на этапе захода на посадку

4.3.47 Кардинальным условием своевременного принятия решения о применении соответствующих технических приемов является распознавание сдвига ветра. Рекомендуемые восстановительные действия по выходу из условий сдвига ветра следует начинать, как только возникает угроза ухудшения траектории полета ниже 300 м (1000 фут) AGL на этапе взлета или захода на посадку. В таблице 4-8 еще раз приводятся ориентировочные данные о неприемлемом ухудшении траектории полета.

4.3.48 Следует снова подчеркнуть, что эти данные следует рассматривать как ориентировочные, поскольку точные критерии установить невозможно. В каждом отдельном случае ПЗП несет ответственность за оценку обстановки и за обоснованное определение порядка действий, обеспечивающего наибольшую безопасность полета. В определенных случаях, когда изменения происходят со значительной быстротой, может оказаться необходимым приступить к восстановительным действиям до того, как какой-либо из вышеупомянутых показателей будет превышен.

4.3.49 Если непреднамеренная встреча со сдвигом ветра произошла после отрыва или на этапе захода на посадку, следует немедленно приступить к выполнению рекомендуемых технических приемов. Если это произошло на этапе захода на посадку, не следует пытаться произвести посадку. (Однако если на этапе захода на посадку произошла встреча со сдвигом ветра, повышающим характеристики, вместо рекомендуемого восстановительного маневра может выполняться нормальный уход на второй круг). Технические приемы выхода из условий сдвига ветра, возникших после отрыва или на этапе захода на посадку, в обоих случаях являются одинаковыми. Они заключаются в следующем:

Тяга

4.3.50 Следует энергично использовать требующуюся величину тяги для обеспечения соответствующих летных характеристик воздушного судна. Если необходимо, автомат тяги может быть отключен. Следует избегать чрезмерного увеличения оборотов двигателя, если только это не продиктовано необходимостью избежать столкновения с землей. Когда безопасность воздушного судна обеспечена, надлежит отрегулировать тягу для сохранения параметров работы двигателя в установленных пределах.

Тангаж

4.3.51 Техника управления по тангажу для выхода из условий сдвига ветра, создавшихся после отрыва, заключается в следующем:

- a) применяя нормальную угловую скорость тангажа, следует, по необходимости, увеличить или уменьшить угол тангажа до исходного заданного значения 15° . ПНЗП должен отключить автопилот/командный пилотажный прибор, если только они не сконструированы специально для полетов в условиях сдвига ветра, или если не используется командный пилотажный прибор, работающий в режиме выбора положения по тангажу, выдающий команду на желательный угол тангажа;
- b) следует всегда принимать во внимание сигналы автомата тряски. Прерывистое срабатывание автомата тряски на ручке управления можно использовать как сигнал верхнего предела угла тангажа. В условиях сильного сдвига ветра тряска ручки может происходить при углах тангажа менее 15° ;
- c) если для прекращения тряски потребовалось ограничить угол тангажа величиной менее 15 градусов, то следует начать увеличивать угол тангажа до 15° сразу после прекращения тряски;
- d) если по достижении угла тангажа 15° траектория полета в вертикальной плоскости или потеря высоты продолжают оставаться неприемлемыми, следует продолжать увеличивать угол тангажа дальше, но плавно, с небольшими приращениями;
- e) во избежание чрезмерного превышения или недобора желаемого положения по тангажу, управлять по тангажу надлежит плавными равномерными движениями (с приращениями приблизительно 2°);
- f) когда воздушное судно производит набор высоты и предотвращение столкновения с землей уже не является главной заботой, следует увеличить воздушную скорость путем осторожного и плавного уменьшения угла тангажа.

Таблица 4-8. Ориентировочные данные о неприемлемом ухудшении траектории полета

<i>Взлет/заход на посадку</i>	<i>Заход на посадку</i>
1) ± 15 уз воздушной скорости по прибору	1) отклонение от глиссады на ± 1 деление
2) ± 500 фут/мин вертикальной скорости	2) необычное положение рычага
3) $\pm 5^\circ$ угла тангажа	управления двигателем в течение значительного периода времени

Конфигурация

4.3.52 Следует сохранять положение закрылков и шасси до тех пор, пока не будет обеспечена безопасная высота пролета над местностью. Хотя после уборки шасси возможно небольшое повышение летных характеристик, вначале может происходить их ухудшение при открывании створок шасси для его уборки. Хотя в ходе восстановительных действий после отрыва выпуск закрылков может положительно повлиять на летные характеристики, применение этого приема не рекомендуется, потому что:

- a) случайная уборка закрылков (обычная ошибка с направлением движения) оказывает значительное отрицательное воздействие на летные характеристики;
- b) если уборка шасси была начата до распознавания встречи со сдвигом ветра, выпуск закрылков до положения, которое превышает взлетное положение, может привести к включению непрерывно звучащего предупредительного сигнала сирены, отвлекающего экипаж.

Дополнительные соображения

4.3.53 Если во время захода на посадку работают системы автопилота/командного пилотажного прибора, специально сконструированные для эксплуатации в условиях сдвига ветра, их следует использовать при выполнении маневра выхода из этих условий. Эти системы могут оказать помощь в восстановлении нормального полета, нарушенного в результате встречи со сдвигом ветра. Однако из-за ограниченного запаса времени на распознавание и на принятие ответных действий не следует включать автопилот или автомат тяги, если эти системы не были включены до начала маневра выхода из условий сдвига ветра.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Командный пилотажный прибор и/или автоматическая система управления полетом, которые не были специально сконструированы для эксплуатации в условиях сдвига ветра, могут выдать команду на изменение угла тангажа в соответствии с воздушной скоростью или на фиксированный угол тангажа, несмотря на ухудшение траектории полета. Такое управление может противоречить правильным действиям по выходе из условий сдвига ветра и восстановлению нормального полета. Показаниями таких систем необходимо пренебрегать, если требуется применить соответствующие восстановительные приемы, и при наличии времени ПНЗП должен отключить их.

4.3.54 Эффективность автоматического управления от датчиков усилий на штурвале (CWS) в условиях сдвига ветра полной оценки не получила. Одним из соображений относительно CWS является то, что обычно это одноканальный режим работы автопилота и, будучи таковым, он обладает пониженным максимумом управляющего момента. В любом случае, если при попадании в условия сдвига ветра используется CWS и при этом имеются трудности в достижении желаемого положения в пространстве, его использование следует прекратить.

4.3.55 В некоторых командных пилотажных приборах предусмотрен режим работы положения по тангажу. Если этот режим используется в условиях нормальной эксплуатации, то он может эффективно применяться при попадании в условия сдвига ветра, если только выбранное положение по тангажу не выходит за допустимые пределы. Однако при возникновении потребности в установлении иного угла тангажа, нежели выбранный, следует пренебречь указаниями командного пилотажного прибора, и при наличии времени ПНЗП должен отключить его.

4.3.56 Следует избегать изменения положения триммера стабилизатора при кратковременных изменениях воздушной скорости/усилий на ручке управления из-за сдвига ветра. Однако триммер стабилизатора следует использовать для балансировки усилий на ручке управления при увеличении тяги.

4.3.57 В ходе выполнения восстановительного маневра ПНЗП должен сообщать об отклонениях от траектории полета по вертикали, пользуясь в каждом соответствующем случае показаниями высотомера, радиовысотомера или вариометра; например, "снижение: 500, высота: 200, набор высоты: 400, высота: 300" и т. д. Эксплуатанты воздушных судов, на борту которых требуется присутствие бортинженера, могут поручать делать вышеуказанные сообщения третьему члену экипажа.

4.3.58 Быстрые изменения ветра могут вызывать резкие отклонения положения воздушного судна по тангажу и крену при небольших перемещениях рычагов управления пилотом или даже без

его вмешательства, а также привести к такому изменению пространственного положения, при котором может быть приведен в действие автомат тряски на ручке управления, предупреждающий о приближении к скорости сваливания.

4.3.59 Следует в кратчайший срок сообщить о встрече со сдвигом ветра на АДП. Летящее следом воздушное судно может не обладать достаточными летными характеристиками для выхода из тех же условий сдвига ветра. Интенсивность сдвига ветра, кроме того, может усиливаться, еще более увеличивая опасность пролета через его зону. (Донесения пилотов о встречах со сдвигом ветра рассматриваются в главе 5.). Пилоты и диспетчеры должны отдавать себе отчет в том, что их своевременные действия могут предотвратить потенциальное бедствие – секунды могут спасти жизнь. В таблице 4-9 приводится резюме технических приемов выхода из условий сдвига ветра после отрыва/при заходе на посадку.

Встреча со сдвигом ветра на ВПП при взлете

4.3.60 Распознать сдвиг ветра во время разбега для взлета бывает трудно вследствие быстрого изменения воздушной скорости. Помимо описанных выше визуальных признаков, необычные колебания воздушной скорости, медленное или неравномерное нарастание воздушной скорости могут служить признаками встречи со сдвигом ветра.

4.3.61 Критерии в отношении выполнения/не выполнения взлета, базирующиеся на скорости принятия решения (V_1) при отказе двигателя, неприменимы для условий сдвига ветра, поскольку путевая скорость может быть намного выше воздушной скорости (см. рис. 4-14). Таким образом, может оказаться невозможным остановить воздушное судно на ВПП в случае прекращения взлета. Отрыв зависит от воздушной скорости; возможность осуществить остановку в основном зависит от путевой скорости.

До достижения скорости V_1

4.3.62 Взлет следует прекратить, если происходят неприемлемые колебания скорости, не достигающие уровня скорости V_1 по прибору, и пилот решает, что оставшейся длины ВПП достаточно для остановки воздушного судна.

Таблица 4-9. Резюме технических приемов выхода из условий сдвига ветра после отрыва/при заходе на посадку

Тяга	<ul style="list-style-type: none"> использовать необходимую величину тяги
Тангаж	<ul style="list-style-type: none"> установить угол тангажа 15° увеличить угол тангажа до более 15°, если это необходимо для обеспечения приемлемой траектории полета всегда принимать во внимание сигналы автомата тряски ручки управления
Конфигурация	<ul style="list-style-type: none"> сохранять имеющуюся конфигурацию

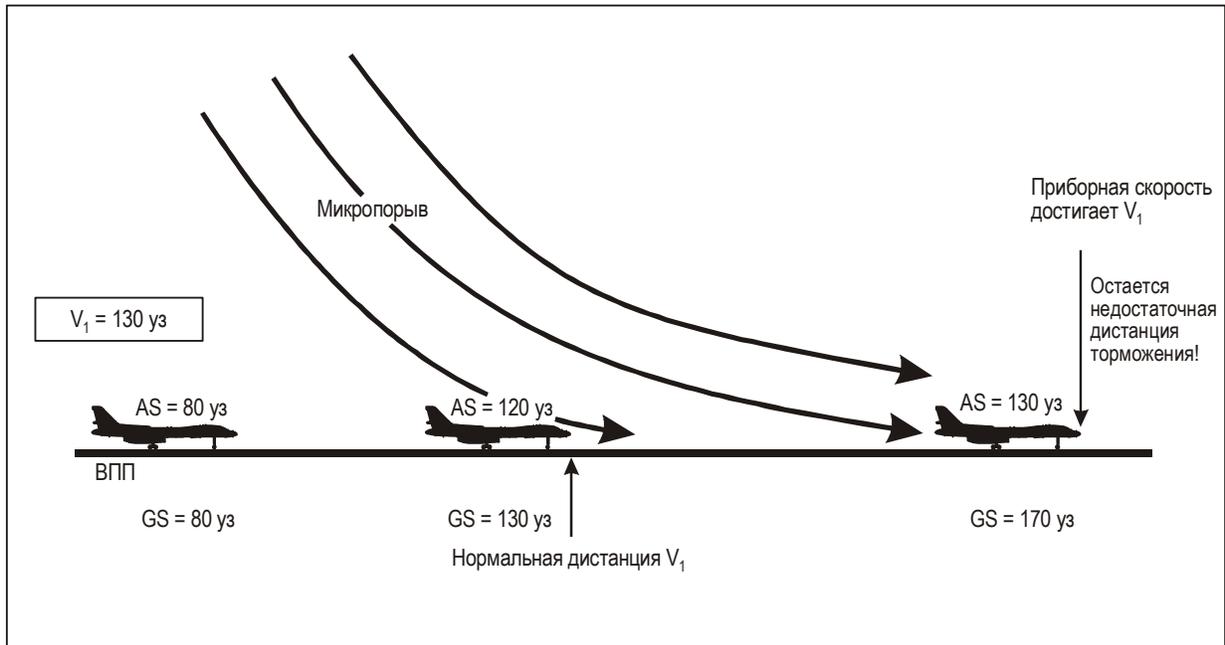


Рис. 4-14. Влияние сдвига ветра на момент принятия решения о выполнении/не выполнении взлета. Скорость принятия решения V_1 может быть не достигнута в точке, откуда оставшейся длины ВПП может не хватить для прекращения взлета
(Учебное пособие ФАУ по сдвигу ветра, 1987 г.)

После достижения V_1

4.3.63 Если достигнута скорость V_1 , взлет должен быть продолжен.

Тяга

4.3.64 Следует энергично использовать требующуюся величину тяги для обеспечения соответствующих летных характеристик воздушного судна. Следует избегать чрезмерного увеличения оборотов двигателя, если только это не продиктовано необходимостью обеспечения безопасности воздушного судна. Когда безопасность воздушного судна обеспечена, надлежит отрегулировать тягу для сохранения параметров работы двигателя в установленных пределах. Однако тяга при "чрезмерной даче газа" сама по себе недостаточна для парирования воздействия сдвига ветра, с которым случайно встретилось воздушное судно. Наиболее важным фактором при выходе из условий сдвига ветра является надлежащее управление по тангажу.

Тангаж

4.3.65 По достижении V_R следует поднимать носовое колесо с нормальной угловой скоростью до угла тангажа 15° . Однако в условиях очень сильного сдвига ветра V_R может оказаться не достигнутой и при этом не представится возможным прекратить взлет. При таких обстоятельствах необходимо начинать подъем носового колеса не позднее чем за 600 м (2000 фут), остающихся до конца пригодной к использованию поверхности (рис. 4-15).

Примечание. Как правило, воздушные суда транспортной категории способны производить отрыв на скорости ниже V_R на 5-10 уз (кроме самолета "Боинг-727", который не способен оторваться, не достигнув V_R).

4.3.66 Не следует ограничивать положение по тангажу и подъем носового колеса с целью не допустить касания задней частью фюзеляжа с поверхностью ВПП, поскольку может потребоваться весь располагаемый запас тангажа для отрыва на располагаемой длине ВПП. После отрыва следует применить "технические приемы выхода из условий сдвига ветра после отрыва", рассмотренные выше.

4.3.67 Оставшуюся часть ВПП при взлете можно определить по соответствующим маркировке и огням светосигнального оборудования. Хотя рассматриваемая маркировка обычно предназначена для содействия в выполнении воздушным судном посадки, она также может использоваться для определения остатка ВПП в ходе взлета. На рис. 4-16 показаны типовые маркировка и светотехническое оборудование ВПП, оборудованных для захода на посадку в соответствии со стандартными ИКАО и ФАУ. В отношении воздушного судна, вылетающего в направлении слева направо на рисунке, первая пара одиночных маркировочных знаков в виде продольных "шпал" по обе стороны от осевой линии указывает, что до конца ВПП остается 900 м (3000 фут) (т. е. 300 м (1000 фут) до точки начала подъема носового колеса). По мере продолжения взлета точка, от которой до конца ВПП остается 600 м (2000 фут), обозначена первой парой из встречающихся дальше двойных "шпал". Следует отметить, что все маркировочные знаки в виде "шпал" расположены с интервалом 150 м (500 фут), начиная от концевого порога в направлении вылета.

Таблица 4-10. Технические приемы выхода из условий сдвига ветра при взлете (на ВПП).

Тяга

- использовать требующуюся величину тяги

Тангаж

- поднимать носовое колесо до угла тангажа 15° (не позднее чем за 2000 фут перед концом ВПП)
- увеличивать угол тангажа сверх 15° , если это необходимо для отрыва

Примечание. После отрыва применить технические приемы выхода из условий сдвига ветра после отрыва.

4.3.68 Другим средством указания оставшейся длины ВПП может служить светосигнальное оборудование ВПП. Согласно стандартам ИКАО/ФАУ ВПП, оборудованные для точного захода на посадку, оснащены по краям посадочными огнями, излучающими на последних 600 м (2000 фут) ВПП, если смотреть в направлении взлета, желтый, а не белый свет. Кроме того, для определения оставшейся длины ВПП могут быть использованы осевые огни. Экипаж воздушного судна, взлетающего в направлении слева направо на рис. 4-16, будет видеть белые осевые огни до тех пор, пока до конца ВПП не будет оставаться 900 м (3000 фут) ((300 м (1000 фут) до точки, где должен начинаться подъем носового колеса). От точки, от которой до конца ВПП остается 900 м (3000 фут), до точки, от которой остается 300 м (1000 фут), установлены осевые огни чередующегося белого и красного цвета. На последних 300 м (1000 фут) все осевые огни ВПП излучают красный свет. Горизонт красных огней (перпендикулярный оси ВПП) обозначает конец используемой поверхности ВПП.

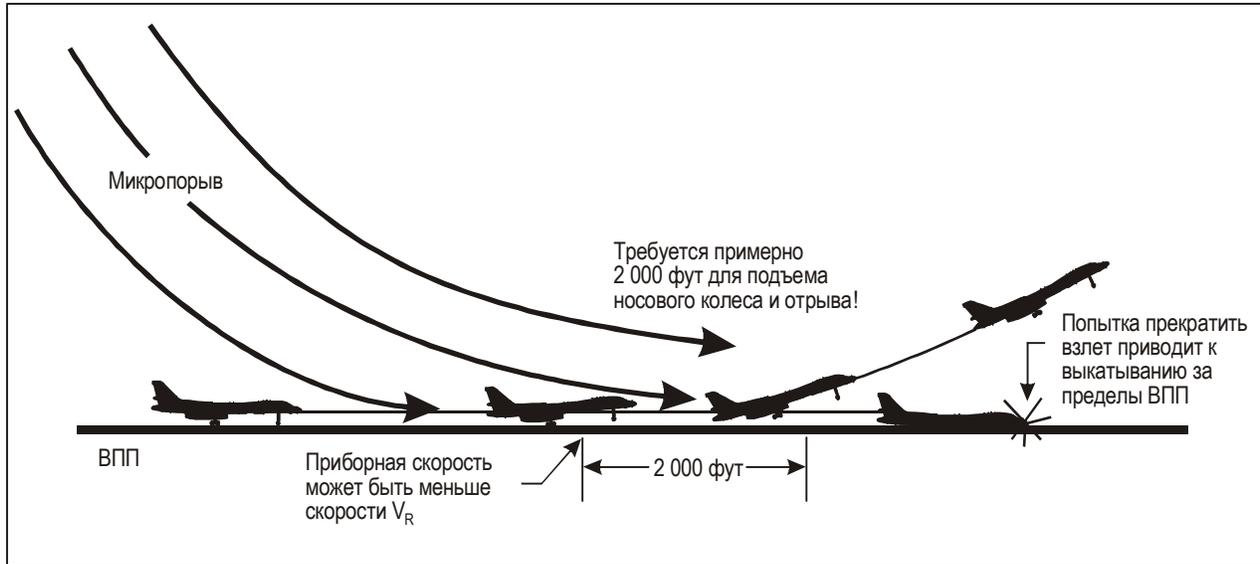


Рис. 4-15. Влияние сдвига ветра на решение о подъеме носового колеса. Воздействие сдвига ветра может заставить начать подъем носового колеса на скоростях ниже V_R . Подъем носового колеса следует начинать не позднее момента, когда до конца ВПП в направлении вылета остается 2000 фут (Учебное пособие ФАУ по сдвигу ветра, 1987 г.)

Рис. 4-16. Маркировка и огни ВПП, оборудованной для точного захода на посадку согласно стандартам ИКАО/ФАУ (Учебное пособие ФАУ по сдвигу ветра, 1987 г., адаптировано ИКАО.)

26/9/08
№ 1

4.3.69 На рис. 4-17 показана маркировка и огни по стандартам ФАУ для ВПП, не оборудованной для точного захода на посадку. Главным указателем оставшейся длины этих ВПП являются расположенные по обе стороны от осевой линии приблизительно в 300 м (1000 фут) от порога ВПП отметки фиксированных расстояний. В отношении ВПП с такими отметками необходим хороший глазомер пилота и/или его знание конкретных ориентиров вдоль ВПП для определения точки, от которой до конца ВПП остается 600 м (2000 фут).

4.3.70 Маркировка и огни ВПП, не оборудованной для точного захода согласно стандартам ИКАО, показаны на рис. 4-18. Этот рисунок представляет оптимальный вариант из тех, какие можно встретить в реальности. Согласно стандартам ИКАО большинство ВПП, не оборудованных для точного захода на посадку, имеют некоторые, но не обязательно все эти элементы. ВПП, не оборудованные для точного захода на посадку, в соответствии со стандартами ИКАО имеют одиночные маркировочные знаки в виде продольно расположенных по обе стороны от осевой линии ВПП "шпал" с интервалом приблизительно 150 м (500 фут), начиная от порога ВПП. Приблизительно в 300 м (1000 фут) от порога ВПП могут быть также установлены маркеры фиксированных расстояний. Кроме того, установленные на обочинах посадочные огни ВПП могут излучать свет цветового кода аналогично ВПП, оборудованным для точного захода, которые имеют желтые, а не белые огни на протяжении приблизительно последних 600 м (2000 фут) длины ВПП.

Нерекомендуемые технические приемы выхода из условий сдвига ветра

4.3.71 Во время выработки рекомендованной на предыдущих страницах методики восстановления нормального полета большое число технических приемов выхода из условий сдвига ветра оценивалось. Нижеследующие приемы техники пилотирования НЕ рекомендуются, поскольку они могут уменьшить шансы на успешное преодоление воздействия сдвига ветра:

- a) попытка сохранить заданную воздушную скорость не позволяет полностью использовать максимальную скороподъемность воздушного судна;
- b) при попытках установления угла тангажа, при котором сразу возникает тряска ручки управления, не полностью используется располагаемая энергия ВС, результатом чего является ухудшение траектории полета и повышение возможности сваливания;
- c) при попытке выполнять полет на наивыгоднейших в отношении подъемной силы/лобового сопротивления углах атаки не используется кратковременная способность воздушного судна выполнять набор высоты по максимальному градиенту;
- d) уборка закрылков при заходе на посадку во время выхода из условий сдвига ветра (как и при применении нормального маневра ухода на второй круг) сокращает запасы увеличения угла тангажа до тряски ручки управления и оказывает неблагоприятное влияние на максимальную скороподъемность воздушного судна при начальном наборе высоты;
- e) использование инерциальной системы отсчета путевой скорости заостряет внимание на управлении по скорости, что противоречит рекомендуемой методике восстановления нормального полета. Кроме того, такой прием с отсчетом скорости направлен на парирование воздействия сдвига ветра и продолжение захода на посадку, а не на немедленное применение маневра по выходу из условий сдвига ветра. И в то время, как такая техника пилотирования неприменима к условиям микропорыва, она может оказаться пригодной для использования в условиях других видов сдвига ветра.

- f) использование "пикирования" (опускания носовой части воздушного судна, чтобы увеличить скорость, а затем кабрирования на некоторой расчетной минимальной высоте) подвергает воздушное судно воздействию горизонтального ветра, потенциально обладающего более высокой интенсивностью, вынуждает предпринимать восстановительные действия на более малых минимальных высотах, требует высокой угловой скорости тангажа и осложняет маневр выхода из условий сдвига ветра.

Необходимо еще раз повторить, что наилучшие результаты выхода из условий сдвига ветра достигаются путем правильного управления положением по тангажу вместе с использованием тяги.

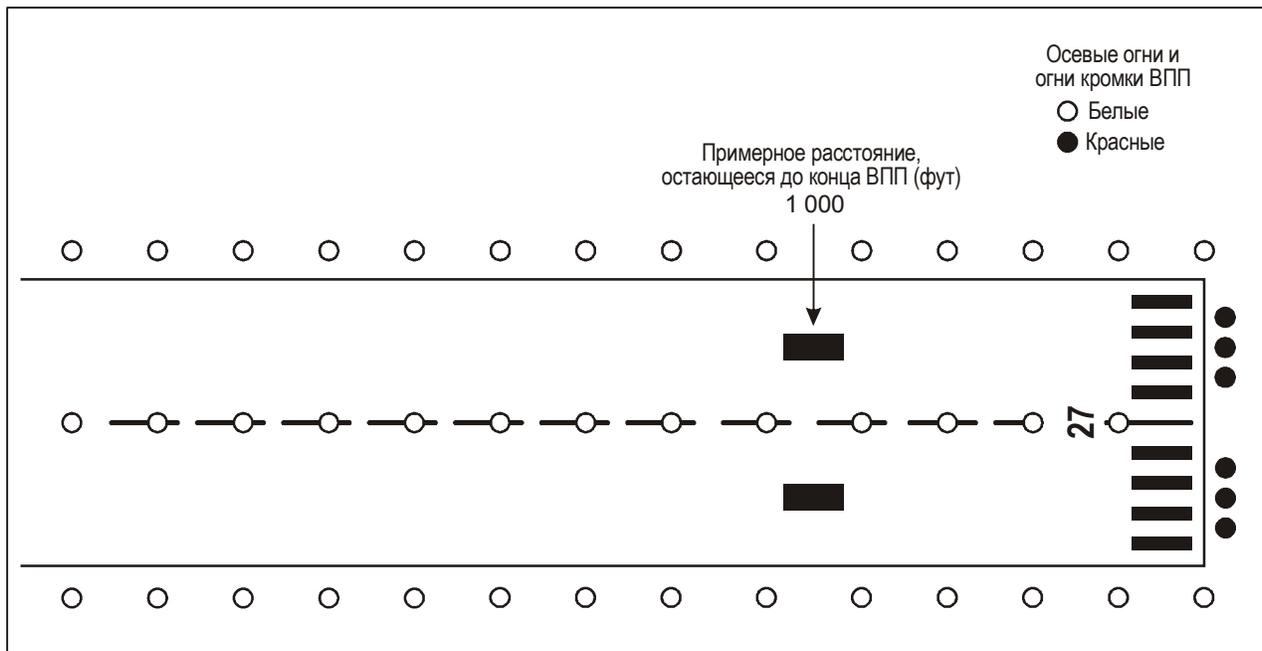


Рис. 4-17. Маркировка и огни ВПП, не оборудованной для точного захода на посадку согласно стандартам ФАУ
(Учебное пособие ФАУ по сдвигу ветра, 1987 г., адаптировано ИКАО.)

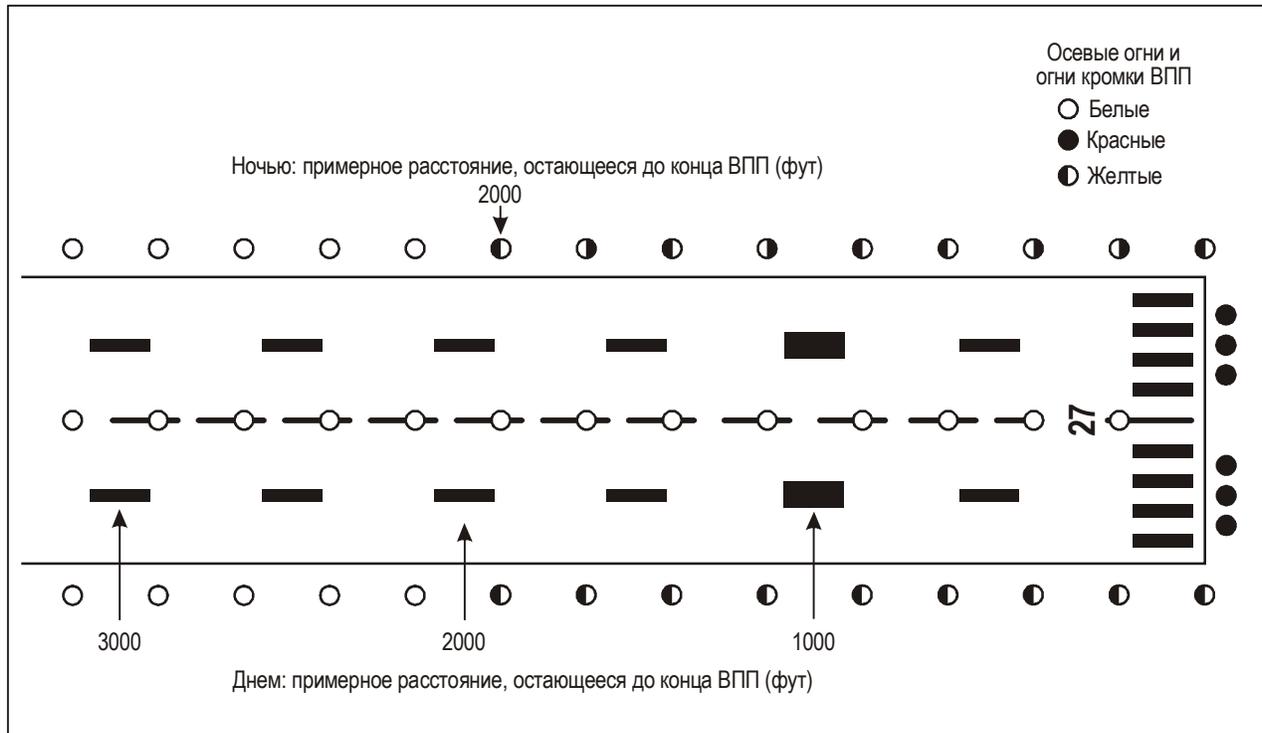


Рис. 4-18. Маркировка и огни ВПП, не оборудованной для точного захода на посадку согласно стандартам ФАУ
(Учебное пособие ФАУ по сдвигу ветра, 1987г., адаптировано ИКАО.)

Справочные материалы

1. Manningham, 1980: Staying current, a proficiency guide for serious pilots, Ziff-Davis Publishing Co., New York.
2. Torosian, 1986: Wind shear, a pilot's point of view, McDonnell Douglas Corp.
3. Federal Aviation Administration, 1987: FAA Wind Shear Training Aid, Volume II, Substantiating Data.
4. Morrison, 1982: Wind shear refresher course, *Canadian Aviation*.
5. Kermode, 1972: Mechanics of flight, Pitman Publishing (London, New York and Toronto).
6. Melvin, 1980: What you don't know about wind shear can kill you, *Flight Crew*, Vol. 2, No. 3.
7. Carter, 1977: Some comments on wind shear, *Aerospace Safety*.
8. Fredrickson, 1977: Wind shear, an update, *Shell Aviation News*.
9. Krauspe, 1985: Contributions on the subject of longitudinal movement of aircraft in wind shears, NASA Technical Memorandum NASA TM-77837.
10. Roach and Findlater, 1983: An aircraft encounter with a tornado, *Meteorological Magazine*, Meteorological Office, London, United Kingdom.
11. Federal Aviation Administration, 1987: FAA Wind Shear Training Aid, Volume I, Pilot Wind Shear Guide.

Глава 5

НАБЛЮДЕНИЕ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СДВИГА ВЕТРА НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ И ПЕРЕДАЧА СООБЩЕНИЙ О НЕМ

5.1 НАБЛЮДЕНИЕ СДВИГА ВЕТРА С ЗЕМЛИ И В ПОЛЕТЕ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5.1.1 В перечне эксплуатационных требований указывается, что пилоты должны быть обеспечены информацией о сдвиге ветра на малых высотах (см. добавление 1). Источником этой информации могут быть результаты наблюдения (с земли или в воздухе) или прогнозирования. Успешная разработка и развертывание TDWR, а также значительное усовершенствование основанных на использовании анемометров систем обнаружения сдвига ветра/предупреждения о сдвиге ветра означают, что проблема оперативного обнаружения и наблюдения сдвига ветра на малых высотах с помощью наземного оборудования решена. Однако такое сложное оборудование является дорогостоящим и требует больших затрат на техническое обслуживание, и поэтому его применение будет скорее всего ограничено кругом очень загруженных аэропортов, которые известны также своей подверженностью сдвигам ветра и особенно микропорывам. В большинстве аэропортов по-прежнему будут прибегать к разнообразным способам наблюдения, большей частью косвенным, с целью обнаружения и, где это возможно, измерения интенсивности сдвига ветра.

НАЗЕМНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Визуальное наблюдение сдвига ветра

5.1.2 Сдвиг ветра сам по себе увидеть невозможно, но очень часто могут быть видны результаты его воздействия. В разделе 4.3 упоминается о нескольких способах определения признаков присутствия сдвига ветра, основанных на использовании информации о прочих метеорологических явлениях. Такие признаки включают следующие:

- a) движение прилежащих слоев облаков в разных направлениях;
- b) сдвиг шлейфов дыма и их движение в разных направлениях;
- c) шквалистое облако впереди надвигающейся линии шквалов;
- d) сильный порывистый приземный ветер, воздействующий на деревья, флаги и т. п.;
- e) реакция ветровых конусов вокруг аэродрома на ветер с одновременным указанием его различных направлений;

- f) пыль,^{a,1} поднимающаяся (особенно кольцеобразно) в результате действия нисходящих потоков под конвективным облаком;
- g) пыль, поднимаемая фронтом порывов впереди линии шквалов;
- h) "вирга" (свисающие столбы испаряющегося в воздухе дождя), особенно в сочетании с конвективным облаком;
- i) чечевицеобразное облако, указывающее на наличие стоячих волн и т. п.;
- j) воронкообразные облака;
- k) водяные смерчи;
- l) торнадо.

Не все из этих проявлений сдвига ветра обязательно должны иметь какое-либо значение для воздушных судов при посадке или взлете; оценку необходимо производить в каждом отдельном случае с учетом преваляровавших местных условий. Многие проявления бывают видимы как с земли, так и в воздухе и, как упоминалось в главе 4, могут использоваться пилотами в качестве признаков, предупреждающих о возможном сдвиге ветра.

Наблюдение сдвига ветра с использованием обычных метеорологических (МЕТ) приборов

5.1.3 *Анемометры.* Об использовании анемометров для наблюдения и измерения сдвига ветра в горизонтальной плоскости (например, вдоль ВПП) говорится в главе 2. На многих аэродромах необходима установка нескольких анемометров, чтобы обеспечить получение информации о приземном ветре на таких критически важных участках ВПП, как зона взлета и зона приземления. Такая установка нескольких анемометров обеспечивает прямой источник информации о горизонтальном сдвиге ветра. Это было положено в основу разработки специальной системы предупреждения о сдвиге ветра (система оповещения о сдвиге ветра на малых высотах (LLWAS))^b, (подробные данные о которой приводятся в пп. 5.1.7–5.1.14). В ряде государств применяется также установка анемометров с вынесенными датчиками, которые установлены на имеющихся телевизионных мачтах и башнях, расположенных вблизи аэродромов, с целью наблюдения и измерения сдвига ветра в вертикальной плоскости. В Финляндии и Швеции такие установки вместе с располагающимися на башнях температурными датчиками для обнаружения и измерения интенсивности инверсии на малых высотах составляют основу систем предупреждения о сдвиге ветра (см. п. 5.3.25). В Гонконге (Китай) гонконгская обсерватория разработала основанную на применении анемометров систему предупреждения о сдвиге ветра для использования в старом аэропорту Кай Так в период между 1979 и 1998 гг.^{2,3} Для нового международного аэропорта Гонконга (HKIA), который был открыт в июле 1998 года, анемометры установлены на вершинах холмов, в долинах, на удаленных островах и на метеорологических бунтах вокруг аэропорта в целях передачи предупреждений о сдвиге ветра. Разработан алгоритм, получивший название "усовершенствованные правила передачи предупреждений о сдвиге ветра на основе данных анемометров (AWARE)⁴ для автоматической передачи предупреждений о сдвиге ветра, которые в

a. Сообщалось также о возможных микропорывах в условиях снегопада, когда в результате присутствия сильных приземных ветров в дополнение к сопутствующему воздействию сдвига ветра имело место ухудшение видимости, при котором из-за слияния неба с покрытой снегом землей горизонт становится невидимым.¹

b. При описании применяемых в настоящее время систем в сокращении LLWSAS первая буква S опускается.

основном охватывают сдвиги, обусловленные морскими бризами и струйными течениями на малых высотах (добавление 4).

5.1.4 *Аэростатное зондирование.* Другим очевидным источником информации о сдвиге ветра является подъем радиозондов и шаров пилотов. Однако, как упоминалось в п. 2.5.3, в каждом случае данные о ветре, полученные из этих источников, уже являются данными о среднем ветре над каким-либо слоем и представляют очень незначительную часть атмосферы в пространстве и времени. Подъем радиозонда также помогает обнаруживать температурные инверсии на малых высотах, которые при определенных условиях указывают на присутствие сдвига ветра (см. п. 3.1.5 в отношении струйных течений на малых высотах). Хотя данные, полученные посредством аэростатного зондирования, являются чрезвычайно полезными в выявлении профильного (вертикального) сдвига ветра, они вряд ли смогут содействовать обнаружению сдвига ветра, связанного с конвективной облачностью (фронты порывов, нисходящие порывы, микропорывы и т. п.). Однако, несмотря на свои ограниченные возможности при непосредственном наблюдении сдвига ветра, данные зондирования в значительной степени содействуют прогнозированию условий, благоприятных для возникновения сдвига ветра (см. раздел 5.2).

5.1.5 *Наземный метеорологический радиолокатор.* Иногда переднюю кромку фронта порывов, особенно в тех случаях, когда такие фронты порождаются линиями шквалов, можно наблюдать на экране обычных метеорологических локаторов (особенно РЛС с 10-сантиметровым диапазоном, а также с 3-сантиметровым диапазоном) в виде тонкой, но очень четкой дуги или линии. Такой отраженный сигнал часто называют "радиолокационным ангелом", и хотя появление некоторых из этих сигналов может объясняться присутствием массовых скоплений в воздухе насекомых или стай птиц и т. п., причиной возникновения большинства из них служат значительные градиенты температуры или влажности, приводящие к относительно резким изменениям показателя воздушной рефракции. Вызываемые фронтами порывов отраженные сигналы в виде дуги или линии обозначают переднюю кромку холодного нисходящего потока воздуха и часто сохраняют свои особенности по мере своего перемещения по экрану локатора со скоростью фронта порывов, иногда в течение около часа. К сожалению, не все фронты порывов создают легко распознаваемые "радиолокационные ангелы", поскольку формирование таких сигналов, судя по всему, зависит от сравнительно редкого сочетания переменных отражательных характеристик атмосферы и радиолокатора. Более того, на расстояниях свыше примерно 50 км (31 м. миля) радиолокационный сигнал проходит над весьма пологим фронтом порывов и, следовательно, не может его обнаружить. Если же фронт прослеживается радиолокатором, метеоролог сможет предсказать, каким образом и когда фронт порывов будет воздействовать на соответствующий аэродром (см. пп. 5.2.37–5.2.40). Имеется множество технических приемов обработки радиолокационных данных, которые позволяют метеорологу оценить по отраженным сигналам интенсивность грозы и могут быть использованы для определения вероятности образования какого-либо проявления или совокупности проявлений сдвига ветра, опасных для авиации. В основе этих приемов лежит, как правило, отражательная способность радиолокационной цели и отображение кривых коэффициентов радиолокационного отражения (dBZ).^c В рамках одного из таких приемов, применяемого в США и называемого системой получения кривых отраженных радиолокационных сигналов, используется автоматический интегратор и процессор видеосигналов (VIP), а создаваемые шесть уровней кривых обычно именуется уровнями VIP (dBZ). Эти методы более подробно рассматриваются в п. 5.2.39. Радиолокационное сканирование может осуществляться в горизонтальной плоскости (индикатор кругового обзора (PPI) или в вертикальной плоскости (индикатор дальности и высоты (RHI)).

5.1.6 *Метеорологические (MET) спутники.* Фронты порывов также довольно часто наблюдаются на снимках, сделанных с метеорологических спутников. Наиболее заметным признаком является шквалистое (слоистое) облако, которое часто образуется над носом фронта порывов,

c. dBZ означает относительную мощность в децибелах.

особенно в случае образования фронтов порывов из линий шквалов (см. п. 3.5.10). Хорошим примером такого рода снимка может служить обширная дуга облаков, радиально перемещающаяся во внешнюю сторону от скопления кучево-дождевых облаков, как показано на рис. 5-1.⁵ Данный снимок ставит перед нами проблему, поскольку, хотя участок дуги L'L – действительно шквалистое (слоистое) облако, связанное с фронтом порывов, сопоставление снимков, сделанных в инфракрасных и видимых лучах, показывает, что часть дуги облака, обозначенная L'U, выглядит как перистое облако.

Оборудование, специально созданное для обнаружения и измерения сдвига ветра на малых высотах

Система оповещения о сдвиге ветра на малых высотах (LLWAS)

5.1.7 Первоначальный вариант системы LLWAS⁶ включает пять датчиков приземного ветра, расположенных в стратегических точках по периметру аэродрома, датчик приземного ветра в центре летного поля и блоки микропроцессоров и дисплеев, непрерывно контролирующие и сравнивающие разность векторов приземного ветра по данным наблюдения между точками периметра и центра летного поля. Датчики в точках периметра измеряют текущие значения ветра и опрашиваются центральным блоком управления каждые 10 с. Датчик в центре летного поля выдает среднее за две минуты текущее значение приземного ветра в качестве контрольного, с которым сравниваются значения приземного ветра в точках периметра.

5.1.8 Дисплеи находятся в помещении органов УВД и постоянно показывают приземный ветер в центре поля и, в зависимости от скорости ветра, фактор порыва. Блок управления непрерывно сравнивает данные ветра по периметру с данными в центре поля и, если разность векторов между ними превышает 15 уз, значения ветра по периметру также отображаются и включается звуковая и визуальная сигнализация. Диспетчер может в любое время вызвать на экран показатели ветра от одного или всех датчиков периметра.

5.1.9 Система LLWAS была разработана и внедрена после ряда авиационных происшествий, имевших место в середине 70-х гг., и впоследствии установлена на более чем 100 аэродромах Соединенных Штатов Америки. Вначале она предназначалась для обнаружения фронтов порывов при пересечении ими периметра аэродрома, и в этом отношении система функционировала достаточно удовлетворительно, хотя были проблемы с уровнем ложных сигналов тревоги (избыточное число предупреждений). Однако в процессе дальнейших исследований сдвига ветра на малых высотах, связанного с конвективными облаками, стало очевидным, что фронты порывов представляют лишь часть проблемы: главной проблемой являются скорее предвестники фронта порывов, образующиеся над поверхностью земли, т. е. нисходящие порывы и микропорывы, нежели сам фронт. В этом отношении система LLWAS имеет ограниченные возможности, поскольку может обнаруживать горизонтальный сдвиг ветра только на уровне земли, что мешает обнаружению сдвига ветра вдоль посадочной глиссады или траектории взлета. При первоначальной разрешающей способности системы в пространстве и времени микропорывы могут иметь место между двумя датчиками периметра, не затрагивая ни один из них.

5.1.10 Для решения этих проблем в систему LLWAS были внесены три крупных усовершенствования, которые значительно повысили ее эксплуатационную эффективность, снизили частоту ложных сигналов тревоги и упростили ее техническое обслуживание. Повышение эффективности наблюдения было в основном достигнуто за счет расширения зоны действия системы до 5,5 км (3 м. мили) вокруг таких критических участков, как зоны подхода к ВПП и коридоры взлета, а также обеспечения улучшенных возможностей для обнаружения микропорывов. Расширение зоны действия автоматически означало увеличение числа датчиков с первоначальных

5 вплоть до 32 в международном аэропорту Денвера. Для более эффективного обнаружения микропорывов потребовалась разработка нового алгоритма, с помощью которого рассчитывается дивергенция в треугольниках, образованных тремя датчиками, и на гранях треугольника между этими датчиками. На основе полученных результатов определяются составляющие ветра вдоль направлений ВПП и рассчитываются данные усиления/ослабления встречного/попутного ветра (см. п. 2.1.3). Расчет типов дивергенций во всей системе позволил обнаруживать положительную дивергенцию, создаваемую микропорывами при достижении ими уровня земли, и отрицательную дивергенцию (конвергенцию) вдоль и впереди фронтов порывов, пересекающих аэродром. Эта информация преобразуется в оповещения о сдвиге ветра, передаваемые пилотам. Пилота не интересует сама дивергенция, поэтому предупреждения содержат расчетные данные об усилении/ослаблении встречного ветра. Такие сдвиги рассчитываются для 4-километрового участка траектории полета при ослаблении встречного ветра более чем на 7,5 м/с (15 уз), но не более чем на 15 м/с (30 уз), и указываются как "сдвиг ветра с ослаблением". Ослабление встречного ветра по крайней мере на 15 м/с (30 уз) на участке в 4 км указывается как микропорыв. Сдвиги на участке длиной более номинальных 4 км считаются менее опасными, поскольку они менее внезапные. Усиление встречного ветра на 7,5 м/с (15 уз) или более на участке в 4 км указываются как "сдвиг ветра с усилением", который представляет собой конвергенцию (отрицательную дивергенцию), обычно образующуюся впереди и вдоль фронта порывов.

5.1.11 Алгоритмы LLWAS в целом показали хорошие результаты (последним вариантом, содержащим существенные изменения, является алгоритм⁷ обнаружения сдвига ветра и микропорывов (WSMD)), хотя считается, что их можно дополнительно усовершенствовать, особенно в отношении обнаружения фронтов порывов. Качество выходных данных алгоритмов в основном зависит от выбранных пороговых сдвигов ветра, а также от качества данных, поступающих от датчиков. Что касается последнего аспекта, то ложные сигналы тревоги имеют здесь критически важное значение, особенно когда они приводят к выдаче предупреждения о микропорывах, что, в свою очередь, вынуждает пилота принимать важные оперативные решения. Высокий уровень ложных сигналов тревоги подрывает также доверие к данной системе со стороны пилотов и диспетчеров УВД. Вопрос о ложных сигналах тревоги является достаточно сложным и, в определенной степени, зависит от каждого конкретного аэродрома. Причинами таких сигналов могут быть порывистый ветер, неоптимальное расположение анемометра, например, в закрытом от некоторых направлений месте (что может быть известным фактом, но изменение места установки не представляется возможным), анемометры, дающие заниженные/завышенные показания, или даже неисправные, но продолжающие вводить ошибочные данные в систему. Все эти факторы тщательно отслеживаются⁸, например, компьютерная программа отмечает "флажком" неисправные датчики и соответствующие предупреждения блокируются, а первоначально установленные датчики заменяются усовершенствованными анемометрами (см. ниже).

5.1.12 Как видно из инструктивных указаний по размещению анемометров в приказе ФАУ 6560.21А,⁹ вопросу размещения анемометров в сети LLWAS с самого начала придавалось важное значение. Упомянутые инструктивные указания предусматривали проведение подробной топографической съемки местности и учет соответствующих факторов, связанных с климатическими/экологическими условиями, планированием и эксплуатацией на каждом аэродроме. В процессе размещения приходилось сталкиваться с многочисленными ограничениями, включая доступ к земельному участку, энергоснабжение, форма собственности аэродрома и т. д., и иногда идеальное местоположение оказывалось невозможным для использования. Первоначально на каждом аэродроме предполагалось установить по 5 или 6 анемометров однако в последней программе по улучшению сети LLWAS предусмотрено увеличить их число, чтобы охватить зону до 5,5 км (3 м.мили) за пределами ВПП, что представляет собой крупномасштабную задачу в сфере планирования. Помимо установки дополнительных анемометров эта программа включает проведение анализа местоположения и высоты анемометров, из числа тех, которые были установлены на более раннем этапе, и, при необходимости, изменение места их установки или подъем на большую высоту. Согласно оценкам усовершенствование сети LLWAS на всех

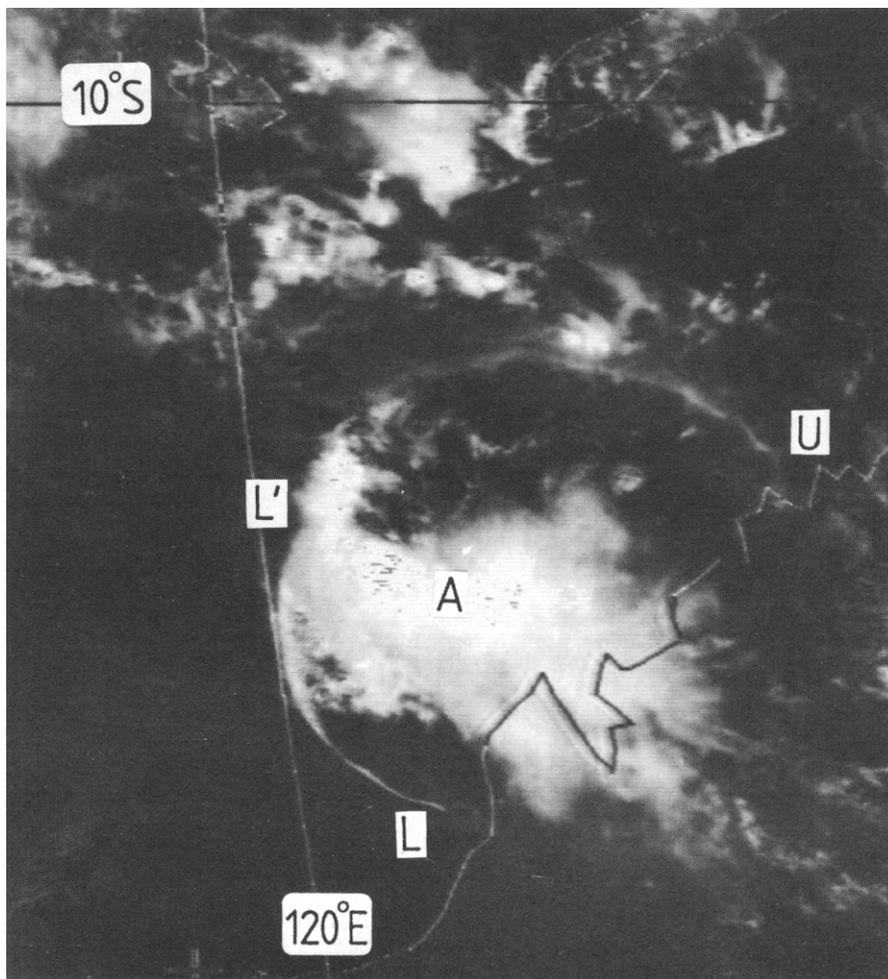


Рис. 5-1. Фотография дугового облака, сделанная с метеорологического спутника
(Кингсуэлл, 1984 г.)

соответствующих аэродромах потребует изменения местоположения, замены или дополнительной установки 200 мачт с анемометрами. Ранее указанная усовершенствованная система в аэропортах без TDWR называлась системой LLWAS с перебазированным и более надежным оборудованием (LLWAS-RS),¹⁰ а в аэропортах с TDWR (за исключением аэропорта Джуно на Аляске) – системой LLWAS-NE с расширенной сетью. В настоящее время в Соединенных Штатах Америки имеются 10 систем LLWAS-NE и 40 систем LLWAS-RS.

5.1.13 Указанные усовершенствования не ограничиваются лишь вопросами размещения или установки дополнительных анемометров. Как упоминалось выше, привычные анемометры с мельничкой заменены новыми техническими средствами, такими как акустические анемометры. Будучи стационарными приборами, эти новые датчики более надежны и удобнее в техническом обслуживании. Отображение выходных данных в органах УВД также совершенствуется до уровня терминальных дисплеев с ленточной индикацией данных, что позволяет вместо прежних оповещений по секторам обеспечить оповещения о сдвиге ветра и микропорывах (МВА) применительно к конкретным ВПП. Кроме того, к дисплеям УВД в международном аэропорту Денвера, которые способны отображать выходные данные от 32 датчиков, подключены дополнительно установленные датчики. В системах LLWAS-RS и LLWAS-NE по возможности используются

имеющиеся стандартные компоненты; в настоящее время эксплуатируются 40 LLWAS-RS, 10 LLWAS-NE и ряд других вспомогательных систем. Для целей выдачи предупреждений о сдвиге ветра системы LLWAS-NE и TDWR работают в комплексе. Подробное описание этого важного аспекта приводится в п. 5.1.49.

5.1.14 Датчики атмосферного давления (например, микробарографы) также испытывались в качестве приборов, установленных по периметру с целью обнаружения "скачка давления", связанного с более холодным воздухом фронта порывов и т. д., и в некоторых случаях обнаруживали надвигающийся фронт порывов иногда на 3 мин раньше датчиков приземного ветра. Комбинированные датчики приземного ветра/атмосферного давления испытаны, однако для расширения возможностей системы LLWAS они в настоящее время не используются.

Система звукометрического обнаружения и измерения дальности (СОДАР)

5.1.15 Система СОДАР аналогична радиолокационной, но в ней используются звуковые волны (~ 1500 Гц) для обнаружения температурных инверсий на малых высотах. Применение доплеровской методики позволяет системе измерять скорость и направление ветра на разных высотах в нижнем слое атмосферы. Используя профили ветра, можно вычислять и отображать информацию о сдвиге ветра на экране дисплея. До недавнего времени эта система имела ограниченные возможности, поскольку ее работа в условиях окружающего шума (например, в аэропортах) и при интенсивности дождя, превышающей установленные пределы, могла ухудшаться. До некоторой степени эти ограничения все еще остаются в силе, но пороговые значения, при которых они начинают влиять на эффективность работы системы, существенно увеличены. Время интеграции данных системой СОДАР до сих пор колебалось в пределах от 10 до 20 мин, что представляет слишком продолжительный период для своевременного предупреждения о конвективном сдвиге ветра. Ожидается, что последние изыскания позволят сократить это время до менее 5 мин. Кроме того, использование трехосной системы СОДАР сделало возможным измерение вертикальной составляющей ветра.

5.1.16 Существующее оборудование СОДАР позволяет зондировать атмосферу только непосредственно над точкой наблюдения, хотя в настоящее время ведутся разработки для обеспечения возможности направлять звуковой луч СОДАР под определенным углом, и в случае успеха это может позволить осуществлять непрерывное слежение за всеми тремя составляющими профиля ветра на аэродромах вдоль траекторий начального набора высоты и захода на посадку.¹¹ Это оборудование особенно приемлемо для наблюдения действующего на широкой площади и имеющего устойчивый характер сдвига ветра, который, например, имеет место при связанных с сильными температурными инверсиями струйных течениях на малых высотах.¹² Система СОДАР эксплуатируется на аэродромах в ряде районов мира, включая Данию, Италию, Канаду, Францию и Швецию. Турессон и Дальквист сообщили об использовании системы из нескольких установок СОДАР для наблюдения и измерения нисходящего порыва, имевшего место в Копенгагенском аэропорту, при этом время интеграции данных составило 20 мин. Соответствующий сдвиг ветра показан на рис. 5-2.¹³

Доплеровская РЛС

5.1.17 Обычные метеорологические радиолокаторы вычисляют и отображают на экране дальность и направление целей, отражающих переданный радиолокатором луч. Тот факт, что отраженный от движущихся целей луч несколько отличается по фазе/частоте от переданного луча и сдвиг по фазе/частоте пропорционален скорости движения цели к/от РЛС, представлял вначале лишь незначительный интерес. Однако это явление, известное под названием "доплеровского смещения", позволяет устранять с экрана РЛС УВД мешающие неподвижные цели (такие постоянные отражения, как сигналы, отраженные от холмов и т. п.) при помощи цепей индикации

движущихся целей (MTI). За последние примерно 20 лет явление доплеровского смещения по частоте все больше применяется для измерения спектра радиальных скоростей движущихся отражающих целей. В последние году разработка таких микроволновых когерентных доплеровских РЛС не только быстро продвигалась вперед, но, что более важно, достигла такого уровня, что стал возможен непосредственный анализ грозовых облаков методом обнаружения и прослеживания облачных капель и дождя/града/снега, а также трассеров при "ясном небе".¹⁴ Это дало исследователям возможность разработать сложные трехмерные модели грозы и, в частности, заметно повысило уровень нашего понимания связанных с грозой фронтов порывов, микропорывов и торнадо, что имеет непосредственное значение для авиации.¹⁵

5.1.18 Чтобы обнаружить представляющие интерес для метеорологии цели, обычно используется рабочая длина волны метеорадиолокаторов от 3 до 10 см (чаще всего применяются волны 3,2 (диапазон X), 5,5 (диапазон C) и 10 см (диапазон S)). Для доплеровской РЛС цель с радиальной скоростью 1 м/с создает смещение по частоте 62, 36 и 20 Гц при длине волны 3,2, 5,5 и 10 см соответственно. В п. 5.1.5 упоминается о том, что иногда неоднородность показателя преломления в атмосфере, например на границе между холодным воздухом фронта порывов и более теплым окружающим воздухом, может обнаруживаться и прослеживаться в виде "ангелов" на обычном метеорадиолокаторе 3-сантиметрового диапазона. Было выяснено, что для обнаружения таких "ангелов" лучше всего подходят РЛС, работающие в режиме незатухающих волн длиной 10 см с частотной модуляцией; такие РЛС могут использоваться даже для обнаружения турбулентности при ясном небе (ТЯН).

5.1.19 С точки зрения обнаружения и измерения сдвига ветра на аэродромах идеалом является непрерывное измерение трех составляющих ветра до высоты примерно 500 м (1600 фут) над уровнем земли (AGL) по траекториям захода на посадку и начального набора высоты. В п. 3.5.16 упоминалось, что от одиночной доплеровской РЛС можно получить только радиальную скорость (вдоль радиусов к РЛС и от нее). Разумеется, если РЛС осуществляет вертикальное сканирование, может быть получена информация о вертикальной составляющей ветра в этой точке, т. е. нисходящих/восходящих потоках. При азимутальном сканировании с данным углом возвышения получается почти синусоидальное изменение доплеровской скорости по мере того, как осевое направление антенны при каждом обороте проходит против ветра, поперек ветра, по ветру и вновь поперек ветра. Из этих данных можно получить профили ветра, если считать ветер в этом районе однородным. На первый взгляд, это малопригодно для определения сдвига ветра в тех случаях, когда ветровое поле не является однородным, однако было установлено, что многие явления, порождающие сдвиг ветра, такие, как фронты порывов, микропорывы и торнадо, могут распознаваться по своему радиолокационному "почерку" на одиночной доплеровской РЛС (т. е. по формам градиента радиальной скорости). Были разработаны алгоритмы, способные обнаруживать различные типы дивергенции (+ve и -ve), создаваемые сдвигом ветра, и обеспечивать хорошую надежность результатов при использовании данных о поле радиального потока, поступаемых от одиночной доплеровской РЛС. Один из таких наборов алгоритмов применяется в TDWR. Он представляет собой работающий в диапазоне C доплеровский радиолокатор, специально созданный для обнаружения фронтов порывов и микропорывов. Указанный TDWR был разработан в Соединенных Штатах Америки в ходе интенсивного процесса создания прототипа с целью скорейшей установки такой функциональной системы в основных аэропортах, подверженных угрозе фронтов порывов и микропорывов. Этот процесс осуществлялся параллельно с продолжавшимися научными изысканиями в области алгоритмов обнаружения и типов конечных информационных продуктов, и в нем были использованы различные данные и информация от всех заинтересованных групп пользователей.¹⁶ Кроме того, при наблюдении за нижними слоями атмосферы сигнал доплеровской РЛС все еще в значительной степени ухудшается из-за мешающих отражений от земли. Технические характеристики TDWR¹⁷ включают следующее:

- а) диапазон C с импульсами 1,1 мкс 250 кВт при частоте повторения импульса (PRF) в доплеровском режиме от 1066 до 1930 Гц;

- b) антенна с игольчатой диаграммой направленности с шириной луча $0,5^\circ$ и боковыми лепестками менее -27 дБ;
- c) сканирование объема атмосферы над аэропортом с помощью индикатора кругового обзора каждые 3 мин и со сканированием поверхности каждую минуту;
- d) подавление отражений от земли с помощью фильтров верхних частот, а также удаление остаточных отражений от земли и точечных целей;
- e) регулировка частоты PRF для минимизации помех возле аэропорта из-за внешних отраженных сигналов и корректировка данных, засоренных сигналами от внешних метеоявлений, путем использования данных сканирования при низкой частоте PRF (325 Гц);
- f) определение среднеарифметической скорости с использованием двойного сканирования при различных частотах PRF и непрерывных полей скорости в двух измерениях;
- g) широкое использование в алгоритмах обнаружения микропорывов и фронтов порывов параметров адаптации к местности, способствующих оптимизации работы системы в различных условиях;
- h) буквенно-цифровое отображение предупреждений о сдвиге ветра на дисплеях с ленточной индикацией данных для диспетчеров УВД в местных АДП и цветное отображение обстановки для целей планирования воздушного движения в районе аэродрома для начальников смен УВД.

5.1.20 Алгоритмы MET для TDWR были разработаны научными сотрудниками NCAR. В применяемом в TDWR алгоритме обнаружения микропорывов используются данные о радиальной скорости, получаемые при сканировании с наименьшим превышением. Он обнаруживает сегменты увеличивающейся радиальной скорости вдоль радиолокационного луча и группирует их в "кластеры". Предполагается, что кластеры связаны с микропорывами, неровная форма которых образуется внешним конвертом кластеров. Затем для каждой формы рассчитывается ослабление встречного ветра, и в зависимости от этой величины, а также местоположения формы относительно траекторий подхода к ВПП и коридоров взлета выдается предупреждение о "микропорыве" или "сдвиге ветра с ослаблением", как это указано в п. 5.1.10. Для обнаружения фронтов порывов применяется аналогичный метод, заключающийся в выявлении областей радиальной конвергенции, которым сопоставляется полиномиальная кривая, представляющая собой фронт порывов. Рассчитывается усиление ветра по всему фронту порывов, и в зависимости от этой величины (7,5 м/с (15 уз) или более), а также от того, затрагивает ли данный фронт подходы к ВПП или коридоры взлета, выдается предупреждение о "сдвиге ветра с усилением".¹⁸

5.1.21 Одна из главных проблем доплеровской РЛС связана с неизбежными помехами, создаваемыми отраженными от земли сигналами, которые являлись и в определенной степени продолжают оставаться источником ложных предупреждений. В качестве контрмер применяются карты и многоугольники отражений от земли для исключения значительных сигналов, отражаемых от стационарных наземных целей и находящихся в пределах зоны действия РЛС. Точная подгонка таких карт представляет собой трудную задачу и зависит от аэропорта. На начальном этапе устранение из сигнала TDWR помех, создаваемых отражениями от земли, ухудшало общее качество принимаемого сигнала и эффективность алгоритма обнаружения сдвига ветра, в результате чего в некоторых случаях не выдавались предупреждения о реальных сдвигах.¹⁹ Это привело к необходимости более осторожного подхода к вопросу об удалении отражений от земли, пока не был достигнут разумный баланс между устранением этих помех и ухудшением сигнала. В настоящее время продолжают исследования, направленные на дальнейшее улучшение ситуации.²⁰ Исполни-

зуемый в TDWR алгоритм расчета микропорывов продемонстрировал вероятность обнаружения свыше 90 % и частоту ложных предупреждений примерно равную 6 %. Прежде чем подтвердить обнаружение микропорыва, указанному алгоритму требуется подтверждение "почерка" отражаемости цели, соответствующего конвективному облаку. Большинство ложных сигналов тревоги, выдаваемых TDWR, относятся к категории сдвигов в 7,5–12,5 м/с (15–25 уз) (т. е. "сдвиг ветра с ослаблением"). В этом отношении разработанный для TDWR последний вариант алгоритма расчета фронтов порывов (автоматизированный интеллектуальный алгоритм обнаружения фронтов порывов (MIGFA)) демонстрирует вероятность обнаружения 85–95 % при сдвигах в 10 м/с (20 уз) или более, однако в случае сдвигов в категории 7,5–10 м/с (15–20 уз) частота ложных сигналов тревоги может достигать 20 %. Хотя такие сигналы относятся к более легкой категории сдвигов, тем не менее вызываемые ими предупреждения могут регулярно выдаваться в том или ином аэропорту в течение значительного периода времени, что является раздражающим фактором, связано с большими расходами и способствует снижению доверия к системе. Алгоритму MIGFA не требуется наличие в воздухе "почерка" отражаемости для подтверждения им обнаружения фронта порывов, и применение такого метода подтверждения представляет собой трудную дилемму, поскольку фронты порывов могут отдаляться на некоторое расстояние от материнского кучево-дождевого облака (см. п. 3.5.8); поэтому отсутствие "почерка" отражаемости не обязательно исключает присутствие фронта порывов. В настоящее время проводятся дополнительные исследования с целью выяснения возможности уменьшения частоты ложных сигналов тревоги при сдвигах менее 12,5 м/с (25 уз).²¹ В настоящее время лаборатория им. Линкольна Массачусетского технологического института (MIT/LL) и Федеральное авиационное управление (ФАУ) разрабатывают блок сбора данных (RDA) для TDWR, который расширит возможности систем приемника и обработки цифровых сигналов радиолокационной станции.²² Эта модернизация позволит применять более прогрессивные радиолокационные технологии, такие как импульсно-фазовое кодирование, в отношении сигналов, передаваемых с заданным PRT, в целях снятия остроты проблемы, обусловленной получением ошибочных данных о дальности и скорости в результате получения отраженных сигналов от целей за пределами зоны действия РЛС. Кроме того, повысится степень подавления помех в результате использования более широкого динамического диапазона приемника в 105 дБ, что приведет к уменьшению помех, создаваемых наземными стационарными и подвижными объектами. В результате будущей модернизации повысится качество выходных данных о микропорывах и фронтах порывов. Кроме того, повышение качества этих выходных данных благоприятно скажется на внешних пользователях, таких как ITWS и NWS. Развернуть эти средства предполагается в период с 2008 по 2011 год. Блок RDA TDWR совместно с изменениями, внесенными в разработку алгоритма, возможности RPG и другая метеорологическая информация в районе аэродрома позволят в будущем улучшить представление информации о сдвиге ветра, включая обнаружение микропорывов с меньшей степенью зависимости от наличия грозы.

5.1.22 TDWR, представляющий собой радиолокатор диапазона С, обеспечивает также хорошую информацию о типе осадков в аэропорту. Это позволяет предоставлять службе УВД и пилотам помимо предупреждений и оповещений о сдвиге ветра (или сигналов тревоги – термин, используемый в Соединенных Штатах Америки) некоторые полезные информационные продукты, например, данные о переохлажденном дожде/мороси и снеге. Однако это также означает, что сигнал TDWR очень подвержен затуханию из-за дождя, причем в большей степени, чем сигналы радиолокаторов диапазона S, таких как NEXRAD (универсальный доплеровский метеорадиолокатор) и метеоканал РЛС УВД (ASR-9). Кроме того, сигнал TDWR особенно подвержен ухудшению из-за попадания дождя на обтекатель TDWR. Программное обеспечение TDWR вычисляет нормальное затухание отраженного сигнала (от антенны РЛС до целей и обратно), которое называется двусторонним затуханием. В тех случаях, когда уровень двустороннего затухания превышает 9 дБ, соответствующее значение отражательной способности отмечается флагом, в результате чего на дисплее TDWR осадки отображаются серым цветом. Ниже этого порога информация об осадках представляется без указания вычисленного затухания. Однако выдаваемая ITWS информация об осадках учитывает ослабление сигнала.

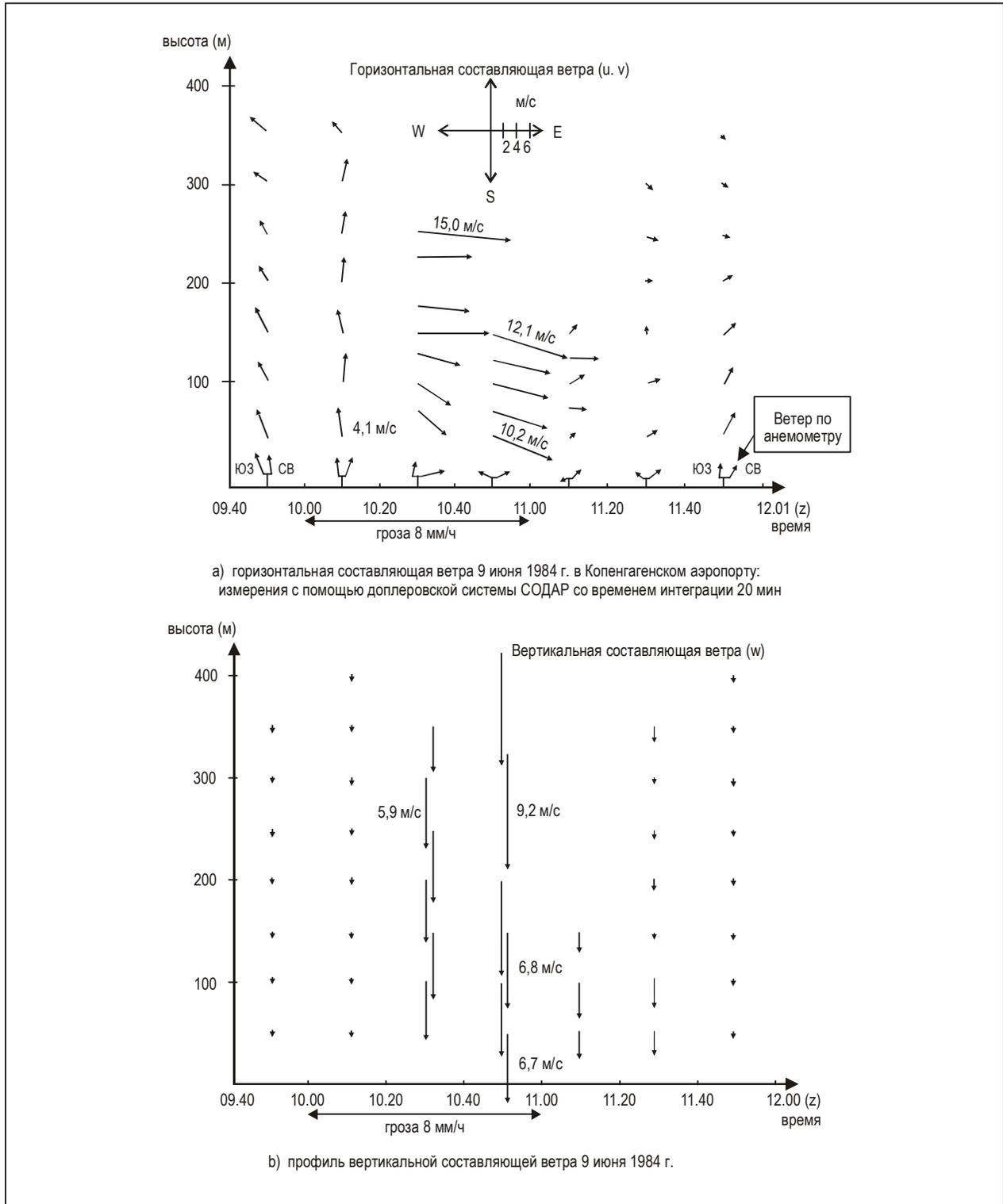


Рис. 5-2. Сдвиг ветра, измеренный доплеровской системой СОДАР в Копенгагене, Дания (Турессон и Дальквист, 1985 г., адаптировано ИКАО)

5.1.23 Данные об осадках над аэродромом измеряются на шести уровнях, поэтому для того чтобы это количество уменьшить на два уровня, проводились наблюдения за ослаблением сигнала TDWR на обтекатель, вызванном отложением дождя.²³ Ослабление сигнала TDWR на обтекатель не учитывается и ухудшает выходные данные об осадках, выдаваемые TDWR. Кроме того, ухудшаются базовые данные, используемые внешними пользователями. Рекомендации, сделанные Айсеймингером в 2000 году, предусматривают учет ослабления сигналов TDWR в выходных данных об осадках в тех случаях, когда оно ниже порогового значения в 9 дБ в целях обнаружения и выдачи предупреждения об ослаблении сигнала на обтекатель.

5.1.24 Вопрос о согласовании расчетов ослабления сигналов TDWR и ITWS обсуждался, однако полное согласование пока не проведено. В настоящее время в TDWR используются параметры ослабления сигналов, соответствующие маскированным грозам в Новой Англии в отличие от используемой ITWS комбинации параметров, которая включает южную часть Соединенных Штатов Америки. В результате, по сравнению с TDWR текущие расчеты ослабления сигналов в рамках ITWS являются более жесткими.

5.1.25 В разделе 3.3 указывается, что сдвиг ветра может быть связан с фронтальными поверхностями. Алгоритмы TDWR обнаруживают зону конвергенции, которая создается при сдвиге ветра, обусловленном холодным фронтом, даже при отсутствии конвективного облака. Однако сдвиг ветра, вызываемый теплым фронтом, обнаруживает лишь в редких случаях, особенно если поверхность теплого фронта, находится в воздухе.¹⁸ Как правило, сдвиг ветра в условиях теплого фронта также не поддается обнаружению системой LLWAS, что неудивительно, учитывая присущие системе анемометров ограничения.

5.1.26 Из всего вышесказанного явствует, что у LLWAS и TDWR имеются свои сильные и слабые стороны. Более того, как упоминалось выше, выдаваемые ими ложные предупреждения, как правило, относятся к разным категориям сдвига ветра, и поэтому данные одной системы можно использовать для проверки данных другой системы. Как показано в таблице 5-1, у систем TDWR и LLWAS существуют еще дополнительные преимущества и недостатки.

5.1.27 По этой причине системы LLWAS-NE были вначале установлены в девяти аэропортах, где имелись TDWR. Десятая и последняя система LLWAS-NE, введенная в эксплуатацию в Джуно в 2006 году, является исключением из правила, поскольку она установлена не совместно с TDWR. Таким образом, теоретически каждая система могла дополнять другую, тем самым повышая общую эффективность аэропортовых систем предупреждения о сдвиге ветра. Однако при всех преимуществах такой взаимной поддержки с эксплуатационной точки зрения оказалось непрактичным, чтобы в одном и том же аэропорту эти системы выдавали потенциально различные предупреждения о сдвиге ветра. Хотя при этом имелась возможность отключить систему с наиболее низкими общими показателями работы, та поддержка, которую каждая система оказывала другой для компенсации ее недостатков, делало отключение нецелесообразным. Это означало необходимость Интеграции выходных данных обеих систем, что привело к разработке сложных интеграционных алгоритмов.

5.1.28 Для интегрирования информации, поступающей от TDWR и LLWAS, существовали три варианта. В порядке возрастания сложности такая интеграция могла осуществляться на уровне сообщений, на уровне информационного продукта и на уровне данных. Ниже приводятся характеристики каждого уровня:

Уровень сообщений. Системы TDWR и LLWAS выдают независимо друг от друга оповещения о сдвиге ветра для каждой действующей ВПП. Эти оповещения объединяются для выработки единого оповещения для каждой ВПП, исходя из логики наихудшего случая. Такой вариант является наиболее простым, и его можно было бы быстро и легко реализовать. Однако, несмотря на то, что при этом сохраняется наивысшая из вероятностей обнаружения, обеспечиваемых двумя системами, частота ложных сигналов тревоги окажется выше, поскольку

Таблица 5-1. Сравнение характеристик и выходных данных TDWR и LLWAS¹⁸

<i>Категория</i>	<i>TDWR</i>	<i>LLWAS</i>
Пространственная разрешающая способность	Высокая	Низкая
Разрешение по времени	Низкая	Высокая
Измерение данных о скорости	Радиальная, 3-D	2-D
Информация об отражающей способности цели	Да	Нет
Информация о воздушном пространстве над поверхностью	Да	Нет
Зона действия	Большая	Малая
Возможность прогнозирования микропорывов	Да	Нет

использование преимущества потенциальной перекрестной проверки результатов, выдаваемых TDWR и LLWAS, что, как уже указывалось, имеет важное значение, представляет собой нелегкую задачу.

Уровень информационного продукта. При таком варианте для выработки оповещений о сдвиге ветра комбинируются промежуточные и окончательные выходные данные или "продукты" алгоритмов. Такую систему можно рассматривать как "экспертную", в которой осуществляется взаимная перекрестная проверка. Преимущества заключаются в способности системы одновременно обеспечить максимальный уровень точного обнаружения и минимизировать неточные и/или ложные обнаружения. Однако дополнительная взаимозависимость двух систем требует осторожности для недопущения отмены правильных предупреждений и решения проблемы сбоя в системе. Кроме того, для сравнения информации, поступающей от двух изолированных систем, потребовались бы дополнительные алгоритмические и статистические посылки, что связано с потенциальной возможностью привнесения проблем, характерных лишь для конкретных случаев.

Уровень данных. Обеспечение интеграции на уровне необработанных данных явилось бы крупномасштабной и дорогостоящей задачей. Более того, реальность какой-либо возможности добиться лучшего результата по сравнению с предыдущими двумя вариантами, хотя таковая и представляется правдоподобной, необходимо было еще доказать. Наилучший метод синтеза подобных двух- и трехмерных данных, как в пространстве, так и во времени, не был очевиден.

5.1.29 Было принято решение о разработке и испытании интеграционных алгоритмов, основанных на уровнях "сообщений" и "продуктов"; на этом этапе задача интеграции на уровне данных не рассматривалась.²⁴ Были испытаны три алгоритма, два из них предназначались для интегрирования на уровне "продукта", и один – на уровне "сообщений". Первый алгоритм для интегрирования на уровне "продукта", разработанный в NCAR, был назван алгоритмом "прототипа уровня продукта"; с его помощью была предпринята попытка уменьшить число ложных предупреждений о "сдвиге ветра с ослаблением" за счет исключения слабых (нечетких) случаев обнаружения сдвига ветра системой LLWAS при отсутствии каких-либо дополнительных данных, указывающих на опасные метеоявления, т. е. учитывались только четкие обнаружения TDWR или LLWAS, либо явления, обнаруженные TDWR в воздухе. После такой оценки алгоритм выдает предупреждение, основанное на наиболее четком обнаружении, зарегистрированном TDWR или LLWAS для каждой действующей ВПП. Образец такого алгоритма был внедрен и прошел эксплуатационные испытания в международном аэропорту Степлтон (Денвер) с 1988 по 1992 г.¹⁶ Второй алгоритм интегрирования на уровне "продукта", разработанный в лаборатории имени

Линкольна Массачусетского технологического института (MIT/LL), был аналогичен первому, но в нем использовался усовершенствованный метод обработки данных. С помощью этого алгоритма была предпринята попытка уменьшить число ложных предупреждений о сдвиге ветра, выдаваемых как системой TDWR, так и системой LLWAS, а также число ложных предупреждений о микропорывах путем подавления слабых (нечетких) обнаружений, которые не были независимым образом подтверждены своей близостью к опасным метеоявлениям. После такой оценки для каждой действующей ВПП выдаются только самые четкие предупреждения, вырабатываемые TDWR или LLWAS. Алгоритм для интегрирования на уровне сообщений также был разработан в MIT/LL.²⁵ С его помощью была предпринята попытка снизить число ложных предупреждений о сдвиге ветра и предупреждений о микропорывах, выдаваемых системами TDWR и LLWAS, во многом с применением той же методики, которая использовалась в алгоритме MIT/LL для уровня "продукта". Поскольку данный алгоритм работает на уровне сообщений, единственным показателем опасных метеоявлений являются сами сообщения, содержащие предупреждения. Слабые предупреждения о сдвиге ветра, выдаваемые только одной системой, подавляются, а слабые предупреждения о микропорывах, поступающие только от одной системы, снижаются до уровня предупреждений о сдвиге ветра. В отличие от алгоритмов уровня "продукта", когда обе системы выдают предупреждение о "сдвиге ветра с ослаблением", интегрированные расчетные данные об уменьшении скорости встречного ветра вычисляются с использованием метода усреднения, с тем чтобы более точно указать расчетную величину ослабления встречного ветра.

5.1.30 Сравнение этих трех алгоритмов было основано на данных, полученных на испытательном полигоне MIT/LL в орландском международном аэропорту. Данные LLWAS были получены от трех сетей анемометров: LLWAS с 6 датчиками; LLWAS с 9 датчиками и мезосеть с 15 датчиками. Указанные две сети LLWAS соответствовали стандарту этапа II, однако, где это требовалось, было изменено местоположение датчиков или была увеличена высота их установки. Асинхронные данные, полученные от всех трех сетей за 10 дней, были путем последующей выборки сведены воедино в виде блоков архивных синхронных данных за периоды, равные 10 с, причем каждый блок данных содержал параметры ветра, зарегистрированные всеми 30 датчиками в течение 10 с. Это аналогично схеме регистрации данных, применяемой в действующей системе LLWAS-NE (или система этапа III, как она теперь называется). Для выработки предупреждений TDWR использовался испытательный радиолокатор TDWR лаборатории MIT/LL, а для получения поля ветра от двух доплеровских РЛС были использованы дополнительные данные от доплеровского радиолокатора университета Северной Дакоты. Был также разработан алгоритм обнаружения сдвига ветра при использовании двух доплеровских РЛС, и предупреждения, выработанные этим алгоритмом, сопоставлялись с результатами вышеуказанных трех испытываемых интеграционных алгоритмов. Между алгоритмом NCAR для уровня "продукта" и двумя алгоритмами MIT/LL обнаружилось фундаментальное различие, состоящее в том, что в алгоритме NCAR не применялся метод интегрирования данных о сдвиге ветра вдоль траектории полета, а в алгоритмах MIT/LL применялся. Хотя все три алгоритма показали хорошие результаты, тем не менее, после всестороннего анализа, оценки, изучения методологии и результатов испытаний NCAR и MIT/LL представили ФАУ совместную рекомендацию о том, что в качестве рабочего варианта интеграционного алгоритма TDWR/LLWAS следует выбрать интеграционный алгоритм MIT/LL уровня "сообщений". Эта рекомендация была принята, и подрядчик для TDWR ("Рейтеон") включил его в версию "build 5" программного обеспечения TDWR. Впоследствии MIT и NCAR²⁶ продемонстрировали работу этих систем в эксплуатационных условиях, соответственно, в аэропортах Орlando и Степлтон, и результаты показали, что преимущества от интеграции TDWR/LLWAS были гораздо выше в аэропорту Степлтон.

5.1.31 В этой связи ФАУ закупило 45 систем TDWR, девять из которых объединены с системой LLWAS-NE, обслуживающей 46 крупных аэропортов в целях повышения безопасности и эффективности полетов в условиях конвективной погоды. Модификация аппаратных и программных средств существующих аэропортовых обзорных радиолокаторов (ASR-9) и процессоры метеорологических систем (WSP) обеспечивают аналогичные возможности при значительно

меньших затратах, что позволяет ФАУ распространить сферу действия обеспечиваемой защиты на аэропорты со средней плотностью движения и аэропорты с меньшим уровнем грозовой деятельности. Для обеспечения безопасности и эффективности NAS ФАУ закупило 34 WSP.

5.1.32 WSP обеспечивает проведение доплеровских оценок ветров на малых высотах, которые используются для автоматической выдачи предупреждений диспетчерам и пилотам о присутствии таких явлений, как микропорывы и сдвиг ветра в фронте порывов. WSP также формирует основанные на отражательной способности шестиуровневые карты погоды без аномального распространения (AP), обусловленного помехами от земной поверхности. Слежение за ячейками грозы и фронтами порывов с помощью сканирования позволяет оценить их скорость, а также составить 10- и 20-минутные прогнозы будущего местоположения фронтов порывов. Выходные данные WSP отображаются на графическом индикаторе обстановки (SD) для использования органом радиолокационного управления заходом на посадку в зоне аэродрома (TRACON) специалистами командно-диспетчерского пункта аэропорта (ATCT). Местным диспетчерам КДП на буквенно-цифровых или "ленточных" дисплеях отображаются сообщения с предупреждениями о сдвиге ветра для их дословной передачи пилотам. Эти дисплеи аналогичны дисплеям, используемым для отображения выходных данных аэродромного доплеровского метеорологического радиолокатора (TDWR).

5.1.33 Частота обновления информации о микропорывах и фронтах порывов составляет 30 с и 2 мин, что превышает частоту обновления данных TDWR. Однако использование в ASR-9 большого веерного луча приводит к уменьшению частоты обнаружения сдвига ветра. Согласно техническим требованиям TDWR обнаружение уменьшения сдвига ветра составляет не менее 90 % для сдвига ветра в 7,5 м/с (15 уз). Согласно техническим требованиям WSP обнаружение уменьшения сдвига ветра составляет не менее 70 % (80, 90 %) для сдвига ветра в 10 м/с (20 уз) (15 м/с, 20 м/с (30 уз, 40 уз)). Более низкая пространная разрешающая способность WSP приводит к более высокому, чем у TDWR, коэффициенту выдачи ложных предупреждений. Согласно техническим требованиям коэффициент выдачи ложных предупреждений составляет 20 % (15, 10 %) для уменьшения сдвига ветра по крайней мере на 10 м/с (20 уз) (15 м/с, 20 м/с (30 уз, 40 уз)). Тем не менее WSP обеспечивает предоставление сопоставимой фактической информации о микропорывах и стратегической информации для управления воздушным пространством и ВПП в аэропортах со средней плотностью движения.

5.1.34 Системы TDWR, LLWAS и WSP способствуют повышению безопасности полетов и управлению воздушным пространством в аэропортах со средней и высокой плотностью движения. Эффективность использования воздушного пространства становится все более важным фактором в условиях, когда перегруженность аэропортов и воздушного пространства, а также задержки с прибытием/вылетом стали существенным сдерживающим фактором для авиационной системы во всем мире, особенно в Северной Америке и Европе. Как следствие, возникла необходимость в новом анализе всех аспектов авиационной системы для выявления перспективных областей для последующего совершенствования, при этом каждое небольшое очередное усовершенствование рассматривалось как важное, поскольку оно способствовало повышению общей эффективности авиационной системы. Общеизвестно, что неблагоприятная погода, а также качество метеонаблюдений и прогнозов в целом оказывают важное влияние на задержки рейсов, изменение маршрутов и, как результат, на перегруженность. С учетом такой ситуации в загруженных узловых аэропортах Соединенных Штатов Америки, подверженных сдвигам ветра, подобные отдельные опасные метеоусловия в дальнейшем потребовалось рассматривать не изолированно, а в качестве составной части аэропортовой комплексной метеосистемы.

5.1.35 Первым шагом явилось обеспечение пилотам в районе аэродромов доступа через линию передачи данных к той же информации, содержащую предупреждения, которая поступает в УВД от TDWR, включая информацию о грозах и сдвиге ветра. Такой вид обслуживания был назван информацией о метеоусловиях в аэропорту для пилотов (TWIP). Технические характеристики программного обеспечения для TWIP были составлены MIT/LL в 1995 г.; пакет электронных программ

был разработан компанией "Рейтеон" и принят ФАУ в 1997 г., а создание соответствующей сети и усовершенствование средств связи были осуществлены ФАУ и фирмой "Аэрнотикал радио, инк." (ARINC) в 1997 г.²¹ Систему TWIP планируется внедрить в 45 аэропортах Соединенных Штатов Америки. Решение о ее использовании принимает каждая авиакомпания самостоятельно. TWIP можно использовать двумя способами: запрос/ответ и направление/отмена. Сообщения TWIP выдаются каждую минуту при неблагоприятной погоде и каждые 10 мин при иных условиях. Пилоты, использующие метод "запрос/ответ", получают самое последнее сообщение; поэтому в отсутствие запроса сообщение не обновляется, когда происходят существенные изменения в метеоусловиях. Пилоты, использующие режим "направление/отмена", получают все сообщения TWIP, включая предупреждения о существенных изменениях. Данный вид обслуживания осуществляется через собственную электронную программу распределения информации авиакомпании, которая в свою очередь получает такие сообщения из центральной базы данных. Недостаток варианта получения всех сообщений TWIP заключается в том, что они вызывают в кабине летного экипажа срабатывание звуковых и визуальных сигналов, предлагающих пилоту вызвать и прочитать эти сообщения. Если они поступают часто, это может быть помехой, особенно в периоды высокой рабочей нагрузки на летный экипаж, когда воздушное судно находится на небольшом расстоянии от аэропорта. Кроме того, эта проблема усугубляется ложными предупреждениями. Некоторые авиакомпании принимают дополнительные меры и ограничивают прием сообщений TWIP для воздушных судов, находящихся в пределах 40 минут полета до расчетного времени прибытия, а также во время руления и взлета. По крайней мере одна авиакомпания сохраняет все сообщения TWIP, и таким образом они доступны полетным диспетчерам авиакомпании и метеорологам, однако она не направляет своим воздушным судам по линии связи "земля-воздух" такие сообщения, как "в пределах 24 км (15 м. миль) грозы отсутствуют" и предупреждения о сдвиге ветра менее чем на 15 м/с (30 уз), в тех случаях, когда в пределах 24 км (15 м. миль) грозы не обнаружены. В 2007 году в аэропорту НКIA расширены возможности TWIP по передаче сообщений "земля – воздух" с целью включения в них предупреждений о сдвиге ветра, выдаваемых разработанной гонконгской обсерваторией лазерной доплеровской системой (ЛИДАР) оповещения о сдвиге ветра (см. п. 5.1.49) в дополнение к предупреждениям, выдаваемым TDWR.

5.1.36 Обслуживание TWIP явилось первым шагом на пути оказания помощи пилотам в принятии решений путем предоставления им практически той же информации о метеоусловиях в районе аэродрома, которая имеется у органов УВД. Следующий шаг заключался в том, чтобы поднять общий уровень и качество метеорологической информации в аэропорту за счет интеграции всех имеющихся данных и предоставления их в удобном для пользователей формате органам УВД и пилотам. Применительно к району аэродрома органам УВД требуются точные прогнозы и предупреждения о метеоусловиях, оказывающих влияние на безопасность полетов, краткосрочное планирование УВД и оптимизацию пропускной способности ВПП. Такая информация должна предоставляться быстро, надежно и в упрощенной форме, которая в идеальном случае исключает или минимизирует какое-либо свое толкование органами УВД. Для достижения этой цели ФАУ приступила к созданию системы ITWS. Планирование ITWS началось в 1991 г.,²⁷ полномасштабная разработка – в 1995 г., а эксплуатационное развертывание – в 2009 году.²⁸

5.1.37 Сдвиг ветра является лишь одним из важных метеорологических явлений, охватываемых системой ITWS. Ниже приводится краткий обзор характеристик ITWS, при этом особое внимание уделяется сдвигу ветра и связанным с ним аспектам, а также предполагаемым целям этой системы:

- a) полностью автоматизированная интеграция в реальном масштабе времени метеорологических данных, поступающих от эксплуатируемых ФАУ датчиков, национальной службы погоды и авиакомпаний;
- b) предоставление вырабатываемого информационного продукта аэродромным диспетчерским пунктам УВД, диспетчерским пунктам подхода (радиолокационные установки) и центрам УВД на маршрутах, при этом доступ к информационному

продукту, относящемуся к районам аэродромов и маршрутам, обеспечивается для всех пользователей;

- с) отображение информации в реальном масштабе времени на дисплеях в помещениях авиакомпаний (полетная диспетчерская и центральная служба оперативного контроля) с такими же возможностями, как и дисплеи ФАУ, с тем чтобы облегчить координацию действий между органами ФАУ по организации воздушного движения и полетными диспетчерами авиакомпаний для повышения эффективности и безопасности полетов.

5.1.38 Обобщение в режиме реального времени данных, поступающих от этих многочисленных датчиков, обеспечит следующее:

- а) прогнозы сдвига ветра и передвижения грозового фронта;
- б) информацию о ветре на высотах с распределением по координатной сетке, позволяющую произвести расчеты времени полета для целей слияния потока воздушного движения и установления последовательности посадок;
- с) информацию о степени серьезности грозы (например, молнии, град и мезоциклоны);
- д) надлежащее решение проблемы недостатков, имеющих у отдельных датчиков (например, затухание сигнала, ложные сигналы тревоги, ограниченная зона действия; ограничения, связанные с данными о радиальной скорости).

Предполагаемые преимущества, которые можно получить при успешном внедрении системы ITWS, изложены в таблице 5-2.

5.1.39 Наиболее мощный сдвиг ветра связан с сильными грозами. Задачей ITWS является предоставление органам УВД данных для прогнозирования развития, передвижения и затухания гроз в районе аэродрома.²⁹ Для ее решения была разработана аэродромная система прогнозирования конвективных метеоявлений (TCWF)²⁸, получившая благоприятный отзыв от пользователей в Соединенных Штатах Америки. Основные черты TCWF включают частое обновление данных (каждые 5 мин), высокую пространственную разрешающую способность (1 км), высокую разрешающую способность в отношении периодов прогнозов (на каждые 10 мин) и самооценку, обеспечивающую пользователю качественную меру точности ее информации. Образец отображений выходных данных TCWF показан на рис. 5-3. Работа TCWF была продемонстрирована в четырех аэропортах в период с 1999 по 2000 г. и получила благоприятный отзыв от пользователей. Система TCWF была взята за основу, а в 2006 и 2007 гг. проведена ее установка. Она считается очень эффективной при оказании помощи органам УВД в следующих аспектах:

- а) заблаговременное планирование схем уклонения от опасных метеоявлений и предотвращение задержек на земле в период согласования;
- б) более быстрое возвращение воздушных судов на нормальные маршруты, избегание необоснованных изменений маршрута;
- с) недопущение преждевременной реакции на начало закрытия аэропорта, с тем чтобы большее количество воздушных судов сумело избежать полетов в режиме ожидания/ухода на другие аэродромы;

- d) выбор более эффективной схемы полета в режиме ожидания по отношению к неблагоприятным метеоусловиям, с тем чтобы обеспечить оптимальную последовательность заходов на посадку и посадок после улучшения метеоусловий;
- e) изменение маршрутов прибывающих воздушных судов на большем расстоянии от воздушного пространства данного аэродрома для недопущения полетов в режиме ожидания/ухода на другие аэродромы на более низких высотах;
- f) усиление преимуществ системы ITWS, изложенных в таблице 5-2.

Таблица 5-2. Выгоды, получаемые Соединенными Штатами Америки от внедрения в национальном масштабе усовершенствованной системы принятия решений органами УВД с использованием первоначальных информационных продуктов ITWS (Эванс и Вулфсон, 2000 г.)

<i>Выявленные пользователями преимущества</i>	<i>Выгоды (млн долл. в год)</i>
Более высокая фактическая пропускная способность аэропортов во время гроз	18
Прогнозирование времени прекращения/возобновления функционирования зон прибытия и вылета	134
Прогнозирование последствий для ВПП и смены ВПП	94
Улучшенная схема воздушного движения в районе аэропортов	10
Оптимизация потока воздушного движения	125
Более оптимальное слияние потока воздушного движения и установление последовательности посадки ВС, используя данные о ветре в районе аэродрома	71
ВСЕГО	452

5.1.40 Действия, описанные в п. 5.1.39 а) – f), указывают на целый ряд усовершенствований, которые могут быть включены в алгоритмы обнаружения сдвига ветра. Одно из таких усовершенствований, которое уже внесено в первоначальный алгоритм определения микропорывов, предусматривает подтверждение обнаружения микропорыва с помощью такого параметра, как коэффициент отражения цели в воздухе, в частности, содержание воды в вертикально интегрированной жидкости (VIL), с тем чтобы уменьшить число ложных сигналов тревоги. Однако существуют ситуации, когда в условиях очень сухого подоблачного слоя могут, тем не менее, возникать микропорывы с очень низким коэффициентом отражения в воздухе (см. рис. 3-13). В таких случаях проверка порогового значения VIL может отнести обнаружение действительного микропорыва к категории ложных. Во многих случаях простое уменьшение порога VIL лишь увеличивает частоту ложных сигналов тревоги. Предпочтительным подходом является уменьшение порога *селективности* VIL.³⁰ Целый ряд крупных аэропортов в Соединенных Штатах Америки оборудован несколькими доплеровскими РЛС, расположенными непосредственно в районе аэродрома или вблизи него. В TRACON (органы управления заходом на посадку), имеющих более одного TDWR, повышено качество выходной информации о фронтах порывов за счет объединения выходных данных о фронтах порывов, поступающих от различных TDWR. В результате в TRACON, имеющих несколько TDWR, улучшено качество прогнозов сдвигов ветра, обусловленных фронтами порывов.

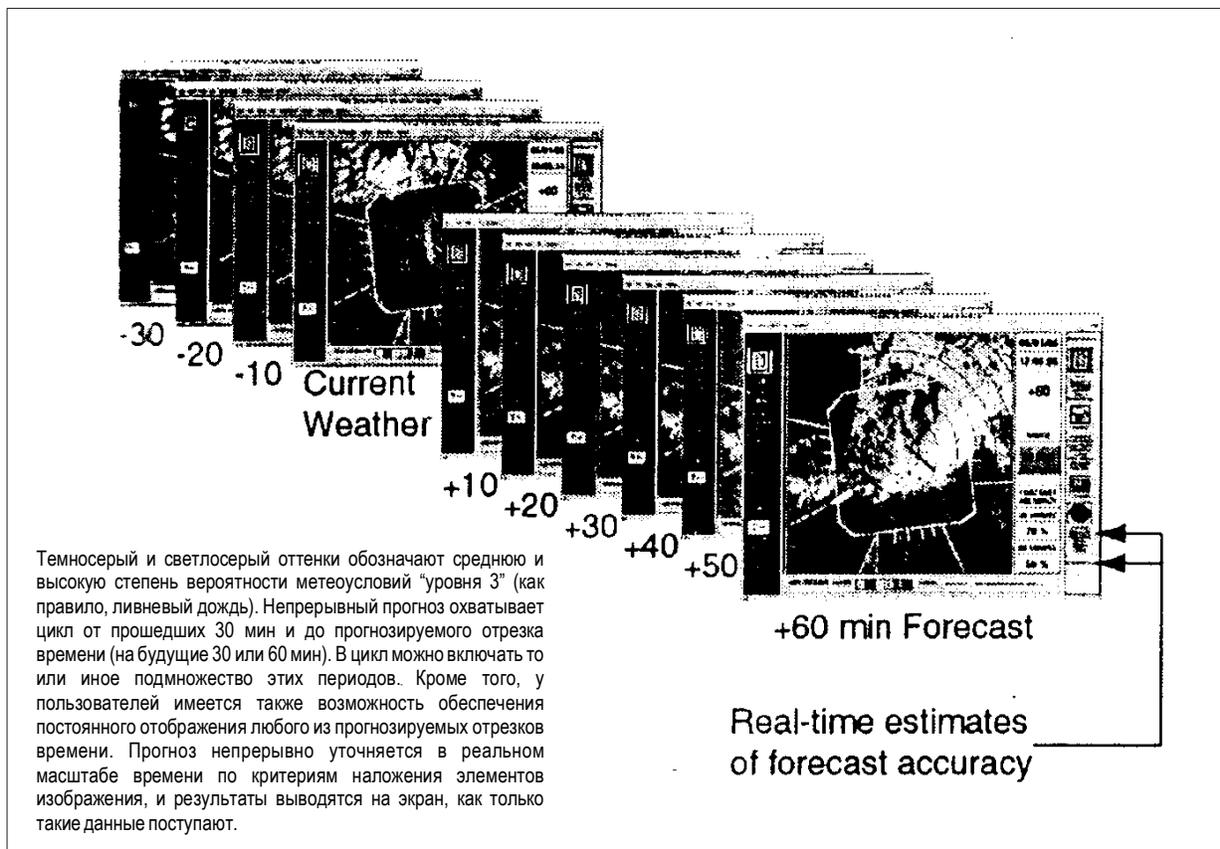


Рис. 5-3. Концепция прототипа отображения прогнозируемых конвективных метеоусловий в районе аэродрома

(Воспроизведено с разрешения лаборатории имени Линкольна MIT, Лексингтон, штат Массачусетс.)

5.1.41 Еще одной проблемой, решение которой позволило бы существенно повысить безопасность и эффективность полетов, являлась разработка алгоритма для автоматизированного, точного и своевременного прогнозирования развития фронтов порывов и микропорывов в районе аэродромов. Это составляло значительную часть информационного продукта ITWS, включая специальные прогнозируемые данные о фронтах порывов и микропорывах, пригодные для использования органами УВД. В основе разработанного специалистами MIT/LL для системы ITWS алгоритма прогнозирования микропорывов лежат основополагающие физические принципы эволюции грозы и развития нисходящего потока. В нем используются трехмерные данные об отражающей способности цели с привязкой к координатной сетке, а также данные о структуре температуры окружающей среды (высота уровня замерзания и интенсивность падения температуры в более низких слоях атмосферы), данные о местоположении и движении грозы, общая частота вспышек молний и т. д.³¹. Используемый системой ITWS алгоритм прогнозирования обеспечивает выдачу предупреждений за две минуты до перехода конкретного сдвига ветра в микропорыв. Перечень экспериментальных образцов информационных продуктов системы ITWS приводится в таблице 5-3.

5.1.42 В применяемых в ITWS алгоритмах обнаружения/прогнозирования микропорывов используются данные TDWR об осадках и данные о температуре, получаемые с помощью наблюдений за приземным и верхними слоями атмосферы, а также информация от коммерческих воздушных судов. Связанные с той или иной ситуацией предупреждения в графическом виде

отображаются на экранах в АДП и в радиолокационных диспетчерских пунктах подхода. Текстовые сообщения передаются пилотам в устном виде диспетчерами УВД. Указанный алгоритм также выдает данные о скорости и величине изменения скорости ветра.

5.1.43 Вырабатываемый системой ITWS комбинированный продукт, содержащий информацию о фронте порывов и сдвиге ветра, предоставляет органам УВД данные о местоположении и силе обнаруженных фронтов порывов, а также прогнозы, касающиеся движения фронтов порывов и связанных с ними сдвигов приземного ветра, пересекающих ВПП. В указанном алгоритме³² используются такие параметры, как отражательная способность цели, данные о доплеровской скорости и исходные опорные данные о ветре, а также данные анализа тонких линий модели отражательной способности цели и анализа любых линий конвергенции, обнаруженных на карте доплеровских скоростей. Каждый фронт порыва отслеживается, и на основе расчетной скорости и направления прогнозируются его будущие местоположения. Эта информация обновляется примерно каждые шесть минут. Когда фронт порыва пересекает действующую ВПП и сдвиг ветра превышает 7,5 м/с (15 уз), орган УВД передает пилотам предупреждение. Типичный информационный продукт ITWS, отображаемый на экранах УВД, приводится на рис. 5-4.

5.1.44 В предыдущих пунктах приводится описание создания и развертывания автоматизированных систем TDWR в Соединенных Штатах Америки, где они были впервые разработаны. Система TDWR была также установлена в аэропорту НКИА для выдачи оповещений о микропорывах и сдвиге ветра. Для района вокруг старого аэропорта Кай Так, замененного аэропортом НКИА в июле 1998 г., была характерна проблема инициируемого рельефом местности сдвига ветра и турбулентности, для решения которой была использована сеть анемометров, установленных в окружающих районах. В процессе планирования нового аэропорта НКИА метеорологический анализ района аэропорта показал, что он будет подвержен конвективным сдвигам ветра, а также сдвигам ветра и турбулентности, обусловленными рельефом местности.³³ В этой связи в 1993 г. правительство Гонконга заключило контракт на разработку системы оперативного предупреждения о сдвиге ветра с необходимыми алгоритмами, которая впоследствии стала системой предупреждения о сдвиге ветра и турбулентности (WTWS). WTWS была установлена в 1997 г., и с тех пор она постепенно совершенствуется НКО посредством внедрения основанной на использовании анемометров системы AWARE (см. п. 5.1.3) и доплеровских ЛИДАРОВ (см. п. 5.1.4) (более подробная информация, касающаяся передачи предупреждений о сдвиге ветра и турбулентности в Гонконге (Китай), приводится в добавлении 4).

5.1.45 Комплексные системы, аналогичные ITWS, были также разработаны и в других странах, включая Германию, Соединенное Королевство, Францию, Швецию и Японию, однако они не играют ведущей роли в обнаружении сдвигов ветра в аэропортах. К ним больше подходит описание как систем "текущего прогноза", которые сводят воедино метеорологические данные из большого числа разнообразных источников и вырабатывают краткосрочные прогнозы и предупреждения. В них используются данные, обеспечиваемые различными сочетаниями доплеровских РЛС, определителей профиля ветра, спутниковых сканирующих многоканальных микроволновых радиометров, метеорологических спутников, мезомасштабных систем наблюдения за приземным слоем атмосферы, систем наблюдения за верхними слоями атмосферы и т. д.

5.1.46 Из цифровых радиолокационных данных, поступающих из организованной сети РЛС (традиционных или доплеровских), указанные системы складывают комбинированную картину и накладывают эти данные на текущее состояние атмосферы, определяемое с помощью метеорологических спутников радиозондов, мезомасштабных систем наблюдения и т. д. Такие комбинированные данные могут предоставляться аналитикам для визуального отображения в реальном масштабе времени, причем практически в любой желаемой конфигурации. Аналитик может интерактивно вмешиваться в эти данные с помощью клавиатуры дисплея и составлять текущие прогнозы. На рис. 5-5 приводится пример существующего в настоящее время информационного продукта с текущим прогнозом, разработанного службой "Метео-Франс" для использования

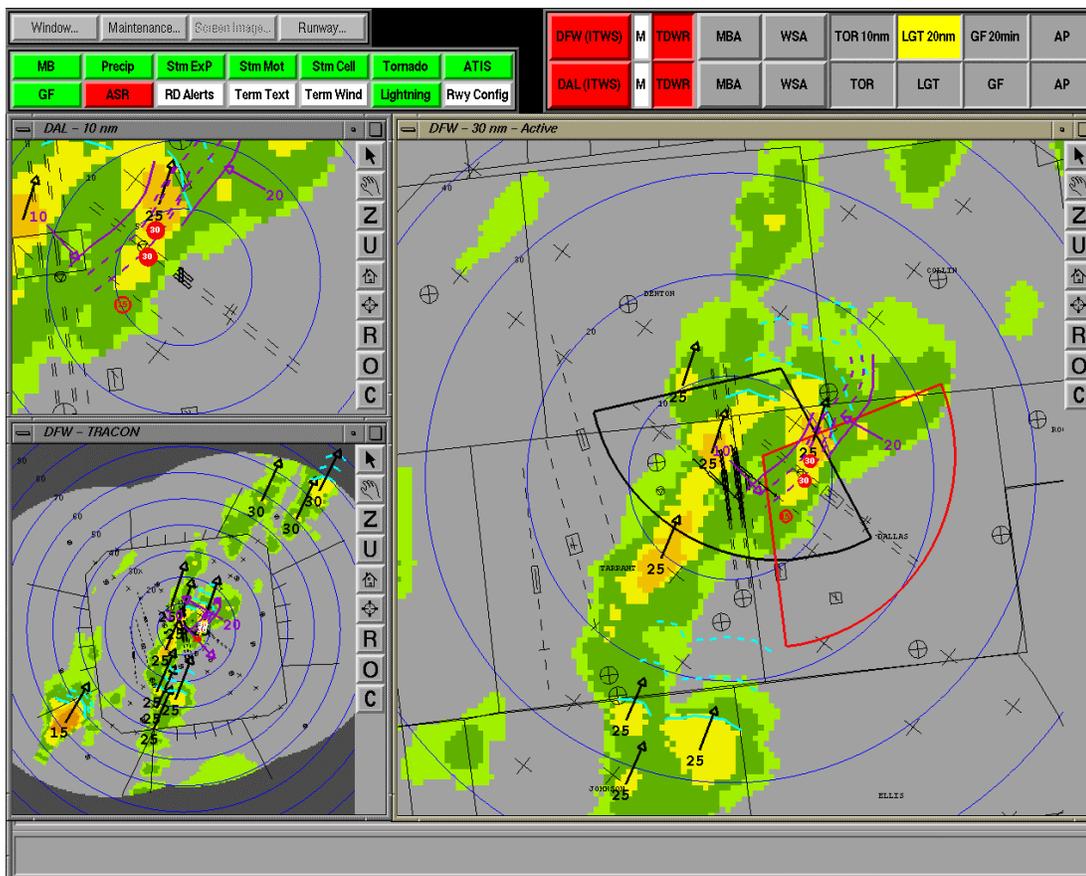


Рис 5-4. Примеры комплексной аэродромной метеосистемы
(из материалов "Роль ITWS в модернизации национальной аэрокосмической системы",
8-я Конференция по авиации, определению дальности и аэрокосмической метеорологии)

авиадиспетчерами. С точки зрения сдвигов ветра эти системы оказывают существенную помощь в прогнозировании сильных гроз и таким образом обеспечивают более совершенную основу для локального прогнозирования сдвигов ветра на малых высотах, вызываемых такими грозями. Не исключено, что в процессе эксплуатации этих систем окажется возможным распознавать и классифицировать конкретные характеристики или "почерки" сдвига ветра, что в конечном итоге непосредственно скажется на прогнозировании сдвигов ветра.

5.1.47 Помимо выпуска доплеровских РЛС и основанных на них различных комплексных систем, некоторые частные изготовители метеорологического оборудования придерживаются и других стратегий в отношении доплеровских РЛС. Например, инфракрасный доплеровский радиолокатор позволяет в значительной степени устранить проблему мешающих отражений от земли и проблему боковых лепестков, и такой радиолокатор особенно пригоден для обнаружения сухих микропорывов (т. е. наличие небольшого количества "следов" в атмосфере). Указанные "радиолокаторы" работают на длине волн, близкой к визуальному спектру, и чаще известны как доплеровские ЛИДАРЫ (световое обнаружение и определение дальности). В некоторых государствах достигнут значительный прогресс в разработке наземных инфракрасных доплеровских ЛИДАРОВ, работающих в режиме незатухающих волн и способных производить трехмерные измерения ветра на высотах до 6–8 км (20 000–26 500 фут). Благодаря узкому регулируемому лучу ЛИДАРА процесс измерений

Таблица 5-3. Текущие информационные продукты системы ITWS³⁴
(Ниероу, Шоултер и Сандерс, 1999 г.)

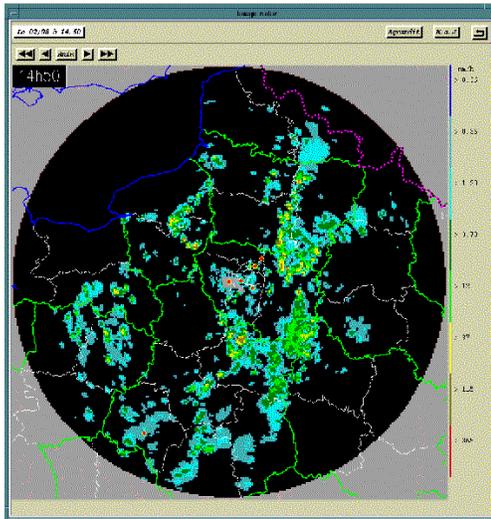
<i>Сдвиг ветра</i>	<i>Осадки</i>	<i>Общие данные</i>
Обнаружение/прогнозирование микропорывов	Гроза	Обнаружение торнадо
Обнаружение/прогнозирование фронтов порывов	Движение грозы	Молнии
Оценочные данные о сдвиге приземного ветра	Экстраполированное положение	Оповещения LLWAS о сдвиге ветра
Временные интервалы	Информация об очаге грозы	Данные о ветре на траектории набора высоты/снижения в районе аэродрома
Местоположение и сила грозы	30–60-минутный вероятностный прогноз аномальных осадков	Текстовые/графические сообщения для пилотов

менее подвержен воздействию мешающих отражений от земли, что позволяет получить данные в пределах нескольких метров от земной поверхности. Подобная система уже разработана в Германии, и она особенно пригодна для непрерывных измерений профиля ветра в реальном масштабе времени и, таким образом, для слежения за многими "неконвективными" видами сдвига ветра, такими как струйные течения на малых высотах.³⁵ Однако на момент публикации настоящего издания эта система в Германии не работала. Какая бы стратегия не была выбрана, она всегда представляет собой определенный компромисс, в котором каждый вариант сочетания частот и длины волн РЛС имеет присущие ему преимущества и недостатки.

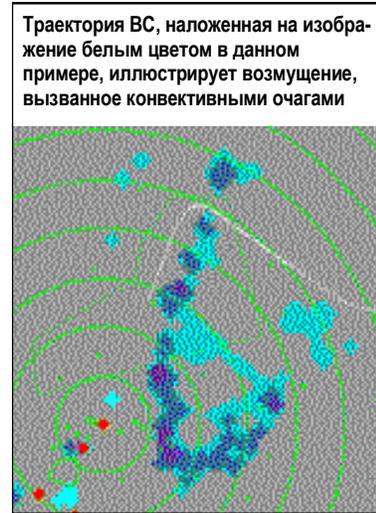
5.1.48 ЛИДАР в Гонконге в основном используется для обнаружения инициируемого рельефом местности сдвига ветра при отсутствии дождя. ЛИДАР в Токийском аэропорту Ханеда используется для повышения качества обнаружения сдвига ветра, инициируемого препятствиями, каковыми являются большие ангары. В этих местах имеются доплеровские РЛС, которые в основном используются для обнаружения сдвига ветра, связанного с дождем; однако дополнительная система, такая как ЛИДАР, в основном используется для обнаружения сдвига ветра, не связанного с дождем. Недавно в Соединенных Штатах Америки было проведено исследование, посвященное использованию ЛИДАРА в качестве вспомогательной системы обнаружения сдвига ветра. В 2005 году³⁶ ФАУ провело оценку возможности обнаружения ЛИДАРОм сухого сдвига ветра. Результаты этой оценки свидетельствуют о преимуществах совместного использования ЛИДАРА и существующих TDWR. При совершенствовании алгоритмов сочетание ЛИДАР/TDWR может увеличить частоту обнаружения сдвигов ветра с 35 % (в настоящее время система TDWR в Лас-Вегасе используется самостоятельно) до более, чем 90 %. Ожидается, что в результате предложенной модернизации TDWR RDA система TDWR будет обнаруживать в условиях Лас-Вегаса 90 % влажных сдвигов ветра. Нарращивание возможностей до уровня обнаружения фронтов порывов с помощью ЛИДАРА обеспечит вероятность обнаружения сухих сдвигов ветра более 90 %. Необходимость совместного использования этих двух систем обусловлена тем, что в половине случаев, имевших место в ходе оценки ЛИДАРА в Лас-Вегасе, сдвиги ветра были сухими и обусловлены грозами. Поэтому при объединении этих двух систем вероятность обнаружения всех сдвигов ветра в Лас-Вегасе составит не менее 90 %, что является целью сообщества пользователей. Ожидается, что выгодами, обеспечиваемыми использованием ЛИДАРА, воспользуются другие аэропорты Соединенных Штатов Америки, располагающие системами TDWR или WSP. До начала реализации национальной программы, предусматривающей решение этой региональной проблемы, ФАУ во второй половине 2007 года в рамках эксплуатационной оценки дополнительно проанализировало работу этой системы в Лас-Вегасе. Это изучение позволит провести более



Оповещение о грозовой области и конвективных зонах и прогнозы на настоящее время для диспетчеров УВД

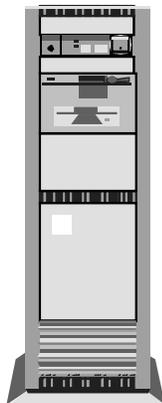


Данные метеорадиолокатора

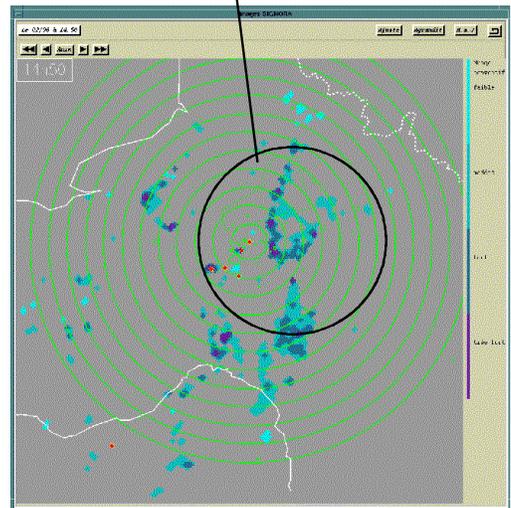


Траектория ВС, наложенная на изображение белым цветом в данном примере, иллюстрирует возмущение, вызванное конвективными очагами

Данные о молниях



Объединение данных
Определение конвективных очагов
Алгоритм прогнозов на настоящее время
Адаптирование визуального отображения к потребностям диспетчера



Пример конечного информационного продукта, используемого диспетчерами УВД в маршрутном центре Парижа

Рис. 5-5. Оповещение о грозовой области и конвективных зонах и прогнозы на настоящее время для диспетчеров УВД (данные "Метео-Франс")

детальный анализ сдвигов ветра путем изучения всех сдвигов ветра в ходе испытаний (таких как инверсионные сдвиги ветра), получить результаты оценки, выполненной специалистами управления воздушным движением, проанализировать систему индикации с учетом аспектов человеческого фактора и выполнить анализ технического обслуживания системы (на момент публикации эти результаты пока были не готовы).

Системы профилирования ветра

5.1.49 Непрерывное измерение параметров ветра (всех трех компонентов) вплоть до тропопаузы можно осуществлять с помощью вертикально направленных доплеровских ОВЧ- и УВЧ-радиолокаторов.³⁷ Из двух упомянутых типов доплеровский радиолокационный УВЧ-определитель профиля ветра более пригоден для измерения параметров ветра в приграничном слое практически в реальном режиме времени и ежечасно выдает данные о профиле ветра вблизи аэродрома. Определители профиля ветра представляют собой значительный интерес для научных исследований, поскольку их потенциальная способность дополнить, а возможно и заменить существующую сеть радиоветрового зондирования при сниженных периодических издержках, обеспечивая при этом более частое измерение профиля ветра с большей разрешающей способностью, может произвести революцию в сфере мезомасштабного прогнозирования. Определители профиля ветра могут использоваться для обнаружения и мониторинга устойчивого сдвига ветра, как, например сдвиги ветра, связанные со струйными течениями на малых высотах или турбулентностью, обусловленной рельефом местности. Однако, за исключением обеспечения дополнительных данных для прогнозирования сильных гроз и т. д., они не годятся для обнаружения конвективных сдвигов ветра вдоль траекторий захода на посадку и взлета. Целый ряд научно-исследовательских учреждений, в частности в Соединенных Штатах Америки, установил в экспериментальных целях доплеровские радиолокационные определители профиля ветра, работающие в диапазонах ОВЧ и УВЧ, и полученные результаты являются очень обнадеживающими. Кроме того, определители профиля ветра используются в рамках системы WTWS, установленной в аэропорту НКIA, описание которой приводится в п. 5.1.44 и добавлении 4. Во Франции также действует ОВЧ-определитель профиля ветра, установленный в аэропорту г. Ниццы на Лазурном берегу, который оказывает большую помощь соответствующим органам УВД. Информация, содержащая необработанные данные и графическое отображение, приводятся в таблице А5-1 добавления 5.

5.1.50 Определители профиля ветра используются в рамках установленной в аэропорту Джуно системы определения скорости ветра, разработанной NCAR и ФАУ.³⁸ Эта система выдает предупреждения о различных видах турбулентности в некоторых регионах вблизи аэропорта Джуно. Для определения регрессий на основе проводимых на борту воздушных судов замеров параметров турбулентности использовались семь датчиков ветра, четыре из которых были расположены на горе или вершинах холмов, и три определителя профиля ветра. Предупреждения о турбулентности выдавались в текстовой форме на основе полученных регрессий, а также отображались на графическом индикаторе посредством окраски соответствующего прямоугольника цветом, установленным для аварийного уровня. Оповещения подразделяются на следующие категории: ТУРБУЛЕНТНОСТЬ ОТСУТСТВУЕТ, умеренная турбулентность для воздушных судов типа В737 (MDT В737) и сильная турбулентность для воздушных судов типа В737 (SVR В737); эта информация обновляется каждую минуту. Эти оповещения могут быть выражены в виде скорости затухания вихря (EDR) для умеренной и сильной турбулентности на этапах захода на посадку и взлета. К числу других характеристик прототипа индикатора относятся: индикация встречного и бокового ветра на ВПП, профили ветров через каждые 500 фут до высоты 6000 фут и замеряемые с помощью датчика скорость и направление ветра, включая последнее пиковое значение скорости ветра. Ввод этой системы в эксплуатацию в конфигурации, указанной выше, маловероятен, поскольку характеристики предупреждений о турбулентности не отвечают требованиям ФАУ. В результате анемометры ветра на вершинах гор и в аэропорту будут использоваться авиакомпаниями в качестве источников

информации об условиях турбулентности с учетом опубликованных для аэропорта Джунго требований к производству полетов.

Доплеровский ЛИДАР

5.1.51 Инфракрасный когерентный импульсный доплеровский ЛИДАР может измерять радиальную составляющую скорости ветра на расстоянии до 10 км в сухих (при отсутствии дождя) погодных условиях. Была подтверждена его эффективность при обнаружении сдвига ветра, обусловленного нарушением потока рельефом местности, морским бризом и фронтом порывов в Гонконге, Китай. Гонконгская обсерватория (НКО) разработала ЛИДАРную систему оповещения о сдвиге ветра (LIWAS)^{39, 40} для автоматического обнаружения сдвига ветра в аэропорту HKIA на основе замеров радиальной составляющей ветра с помощью 2-микронных когерентных импульсных доплеровских ЛИДАРОВ (см. добавление 4). Система LIWAS эксплуатируется с 2005 года. Конфигурация ЛИДАРА обеспечивает возможность сканирования в направлении глиссады (рис. 5-6), результаты которого позволяют определить профиль встречного ветра, воздействующего на прибывающие/вылетающие воздушные суда. Обнаруживается значительный сдвиг ветра в профиле встречного ветра и автоматически выдаются предупреждения (рис. 5-7). Если в профиле встречного ветра обнаруживается несколько сдвигов ветра (забросов скорости), предупреждение будет передаваться лишь в отношении наиболее существенного события на основе коэффициента интенсивности сдвига ветра⁵⁹ (см. п. 5.2.9). Предупреждения, выдаваемые системой LIWAS, вводятся в эксплуатируемую НКО систему WTWS в целях выдачи предупреждений о сдвиге ветра в стандартной терминологии TDWR. Система WTWS группирует оповещения, используя для этого набор алгоритмов обнаружения сдвига ветра, включая алгоритмы, основанные на использовании систем TDWR и анемометров. После группирования в соответствии со схемой приоритизации⁴¹ на индикаторах системы WTWS для диспетчеров управления воздушным движением будет отображаться одно предупреждение о сдвиге ветра для каждого коридора ВПП с целью передачи этой информации пилотам.

НАБЛЮДЕНИЕ СДВИГА ВЕТРА С ВОЗДУХА

Использование стандартных бортовых приборов

5.1.52 Вопрос об использовании стандартных бортовых приборов для наблюдения сдвига ветра подробно обсуждался в главе 4 в связи с распознаванием сдвига ветра пилотами. Упомянулось, что о присутствии сдвига ветра можно узнать по показаниям таких приборов, как указатель воздушной скорости, вариометр и высотомер, которые устанавливаются на борту всех воздушных судов, а на воздушных судах, оборудованных указанными ниже приборами, – также по показаниям авиагоризонта, планового индикатора обстановки (планового навигационного прибора), системы предупреждения о близости земли (в режиме 1, указывающем на чрезмерную вертикальную скорость снижения, а в режимах 3 и 5 соответственно – на потерю высоты после взлета и на полет ниже глиссады), по срабатыванию системы предупреждения о сваливании (автомат тряски ручки управления), по считыванию данных о путевой скорости, скорости и направления ветра в инерциальной навигационной системе (ИНС).



Рис. 5-6. Сканирование глиссады лучом ЛИДАРа
(представлено НКО)

Бортовое оборудование предупреждения о сдвиге ветра

Системы предупреждения о сдвиге ветра, работающие на основе слежения за летными характеристиками воздушного судна

5.1.53 В одной из наиболее ранних эффективных систем используются данные, вводимые от таких обычных датчиков воздушного судна, как приемник полного давления (воздушная скорость), гировертикаль (тангаж) и датчик критического воздушного потока в системе предупреждения о сваливании (угол атаки), вместе с дополнительными данными от специальных измерителей горизонтальных и вертикальных ускорений, составляющих часть самой системы предупреждения. Используя эти данные, системная ЭВМ последовательно, шаг за шагом вычисляет сдвиг в вертикальной и горизонтальной составляющих ветра и, учитывая компенсирующие действия пилота, отображает потерю или избыток энергии из-за сдвига, а при достижении заранее установленного порогового значения выдает звуковой сигнал тревоги. Пороговое значение устанавливается при ослаблении встречного/усилении попутного ветра на 1,5 м/с (3 уз/с) или (при нисходящем потоке) при уменьшении угла атаки на 0,15 рад (8,6°) или при любом сочетании этих двух ситуаций, обеспечивающем условие эквивалентного уровня сигнала (отрицательное ускорение 0,15 g).

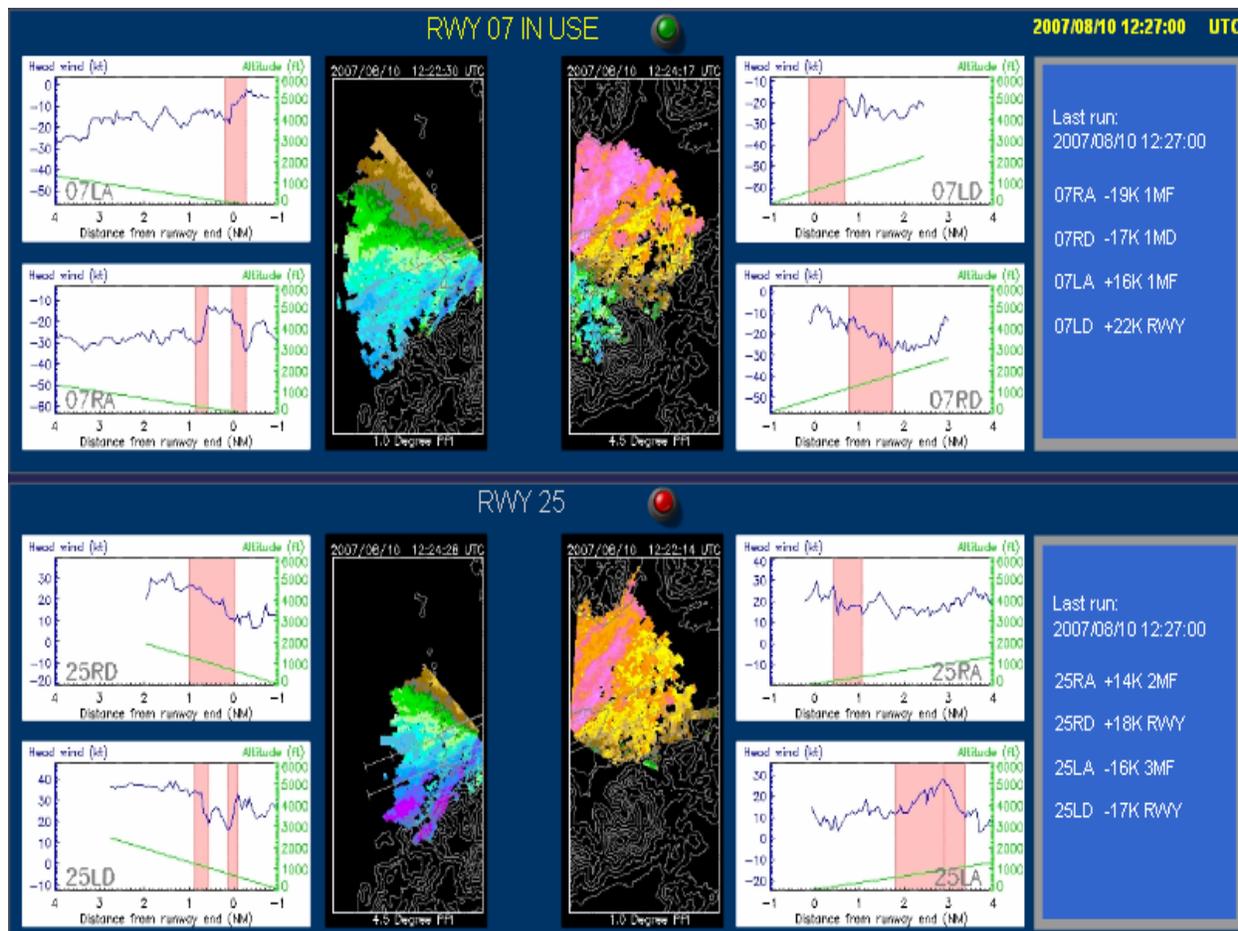


Рис. 5-7. На индикаторе LIWAS показаны профили встречного ветра вдоль различных коридоров ВПП аэропорта НКIA (голубые кривые) и обнаруженный сдвиг ветра (выделено красным цветом) (представлено НКО)

5.1.54 Другая система, имеющаяся на рынке с 1986 г., обеспечивала возможность обнаружения сдвига ветра и предупреждения о его присутствии в рамках функционирования системы оптимизации летных характеристик. Эта система разрабатывалась в течение двух этапов, причем на первом этапе обеспечивались компоненты обнаружения и предупреждения, а на втором этапе – указания пилоту. В системе используется информация от воздушных датчиков и специальных акселераторов, составляющих часть вычислителя оптимизации летных характеристик. Вводимые данные включают угол тангажа, угол атаки, истинную воздушную скорость, вертикальное и продольное ускорение. Вычислитель системы непрерывно сравнивает инерциальное ускорение воздушной массы, а также быстроту изменения этих относительных ускорений. Это позволяет немедленно предупреждать экипаж, когда возникают какие-либо существенные отклонения, указывающие на присутствие сдвига ветра.

5.1.55 Обе системы, упомянутые в пп. 5.1.53 и 5.1.54, считаются ретроактивным оборудованием для обнаружения/избегания сдвига ветра, поскольку они способны предупредить пилота о сдвиге ветра лишь тогда, когда воздушное судно фактически входит в зону сдвига ветра. Тем не менее

даже при этих ограниченных возможностях они способны обнаружить сдвиг ветра и предупредить о нем за несколько чрезвычайно важных секунд до того, как пилот обычно распознает такую ситуацию. Одновременно с разработкой этого оборудования в начале 1980-х гг. ФАУ приступило к разработке критериев летной годности для использования при сертифицировании бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра, устанавливаемых на транспортных воздушных судах, а также критериев их допуска к эксплуатации, которые в итоге были опубликованы в виде консультативных циркуляров в 1987 г.⁴² В этих циркулярах содержались рекомендации по сертификации летной годности ретроактивного бортового оборудования по предупреждению о сдвиге ветра, предназначенного для выполнения как функции "только предупреждения", так и функции "предупреждения с указаниями по избежанию встречи со сдвигом ветра".

5.1.56 Для того чтобы получить полную картину влияния сдвига ветра на летно-технические характеристики воздушного судна в виде кинетической и потенциальной энергии в реальном масштабе времени, на основе работы Боулса был разработан безразмерный показатель, обеспечивающий количественную оценку угрозы сдвига ветра в сравнении с данными о характеристиках воздушного судна, получаемых от существующих бортовых датчиков/ЭВМ.⁴³ После испытаний, проведенных НАСА и ФАУ, этот показатель был принят в качестве основы при сертификации бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра. Он был выведен с помощью формул полета, приведенных на рис. 4-1, и обычной формулы энергии (кинетической плюс потенциальной). Общая удельная энергия воздушного судна (E_T) определяется следующим образом:

$$E_T = z + \frac{1}{2} \frac{V_a^2}{g},$$

где V_a – воздушная скорость, g – ускорение силы тяжести, z – высота над уровнем земли. В указанной формуле^d используется кинетическая энергия воздушной массы, поскольку воздушная скорость (не путевая скорость) характеризует способность воздушного судна набирать и выдерживать высоту. В случае потенциальной энергии можно "обменивать" высоту над уровнем земли на воздушную скорость и наоборот (см. п. 4.2.7). Быстрота изменения E_T (или потенциальная скорость набора высоты) представляет собой дифференциал, который можно выразить через энергию воздушного судна, создаваемую в результате действия сил тяги и лобового сопротивления (см. рис. 4-1), следующим образом:

$$\dot{E}_T = \dot{z} + \frac{V_a}{g} \dot{V}_a = V_a \frac{(T-D)}{W}.$$

Вышеприведенное уравнение применительно только в случае однородной воздушной массы. Если принять во внимание воздушное течение и не учитывать члены второго порядка, эту формулу можно записать^d в следующем виде:

$$E_T = V_a \frac{(T-D)}{W} - \frac{\dot{U}_x}{g} + \frac{w}{V_a} = V_a \frac{(T-D)}{W} - F, \text{ где } F = \frac{\dot{U}_x}{g} - \frac{w}{V_a}.$$

F является безразмерным показателем, который включает \dot{U}_x (горизонтальную составляющую ветра вдоль траектории полета); таким образом \dot{U}_x представляет собой быстроту изменения горизонтальной составляющей ветра или параметр сдвига ветра, а " w " является

d. Обозначение \dot{z} эквивалентно $\frac{dz}{dt}$ и аналогично \dot{E}_T и \dot{U}_x эквивалентны соответственно $\frac{dE_T}{dt}$ и $\frac{dU_x}{dt}$.

вертикальной составляющей ветра (восходящий/нисходящий поток в данной воздушной массе). Коэффициент или показатель F , определенный Боулсом, представляет собой параметры поля ветра, которые имеют важное значение для реакции воздушного судна на сдвиг ветра и используются для установления пороговых значений опасного сдвига ветра в бортовых системах предупреждения о сдвиге ветра. Из приведенных выше формул видно, что при показателе F , равном $+ve$, энергетический уровень воздушного судна снижается, это происходит при уменьшающейся воздушной массе (w соответствует $-ve$) и при усилении попутного ветра или ослаблении встречного ветра (т. е. \dot{U}_x соответствует $+ve$). Как указано в главе 4, при сдвиге ветра, ухудшающем характеристики воздушного судна, когда показатель F соответствует $+ve$, пилот может выдерживать или набирать высоту путем увеличения тяги и/или угла тангажа (тем самым "обменивая" воздушную скорость на высоту или кинетическую энергию на потенциальную).

5.1.57 Приведенные в п. 5.1.56 формулы описывают мгновенное влияние сдвига ветра на воздушное судно, и поэтому необходимо определить среднее значение на участке надлежащей длины, чтобы полностью оценить опасность сдвига ветра. Например, очень большие значения показателя F могут наблюдаться на небольшом участке и более походить на турбулентность. Таким образом, протяженность участка, где присутствует сдвиг ветра, имеет критическое значение и является предметом обширных исследований⁴⁴ (см. п. 2.5.2). На основе результатов этих исследований ФАУ приняло в качестве порога для оповещения длину участка в 1 км и средний коэффициент F , равный 0,13 или более. Для целей сертификации бортового оборудования, предназначенного для предупреждения о сдвиге ветра, ФАУ считает потенциально опасным сдвиг ветра, при котором коэффициент F , превышает величину 0,1, а для предупреждения (сигнал тревоги в Соединенных Штатах Америки) требуется, чтобы показатель F равнялся 0,13.⁴⁵ Для иллюстрации типичных значений показателя F при атмосферных явлениях, вызывающих сдвиг ветра, можно отметить, что струйные потоки на малых высотах вряд ли способны превысить порог в 0,1; вместе с тем, неподозревающий пилот может все-таки столкнуться с определенными трудностями, а при заблаговременном предупреждении он, как правило, сможет справиться с такой ситуацией, увеличив тягу. При микропорывах пороговое значение 0,1 превышает примерно в половине хорошо задокументированных случаев, при этом в центрах интенсивных микропорывов эта величина варьируется от 0,25 до 0,36, что для большинства реактивных транспортных воздушных судов считается непригодными для полета условиями.

5.1.58 Сертификация бортового оборудования для предупреждения о сдвиге ветра предусматривает проверку того, что данное оборудование способно, помимо прочего, выдавать требуемые сигналы тревоги при правильных пороговых значениях, надежным образом и в пределах приемлемого уровня ложных сигналов тревоги и режимов отказа и т. д. В этих целях ФАУ разработало набор моделей сдвига ветра, используя данные, полученные в рамках проекта JAWS, а также поля ветра, составленные на основе данных об авиационных происшествиях, связанных со сдвигом ветра (см. пп. 3.5.17–3.5.20). Изготовитель оборудования, предназначенного для предупреждения о сдвиге ветра, должен продемонстрировать, что указанное оборудование способно функционировать в соответствии с заявленными им характеристиками в условиях моделированного полета с использованием моделей сдвига ветра, разработанных ФАУ.

5.1.59 В консультативных циркулярах ФАУ, упомянутых в п. 5.1.55, содержатся следующие положения:

Применение данной [ретроактивного типа] технологии в силу своей специфики предполагает вход самолета в зону сдвига ветра определенного уровня с результирующим уменьшением или увеличением потенциального градиента набора высоты. Тем не менее, эти системы оказывают большую помощь в обнаружении, своевременном оповещении и подтверждении наличия потенциально опасных условий сдвига ветра, как правило, раньше чем эту ситуацию распознает пилот. В случае систем, выдающих пилоту соответствующие указания,

обеспечивается эффективное управление располагаемой энергией самолета для более четкого контроля за траекторией полета во время маневра по избежанию зоны сдвига ветра. В идеальном случае все преимущества системы переднего обзора могут быть реализованы при разработке датчика, расположенного на подвижной платформе, и способного обнаруживать движение воздуха при ясном небе впереди самолета на фоне земной поверхности. ФАУ пришло к выводу о необходимости определить обусловленные этими системами требования к таким устройствам и поручило НАСА взять на себя техническое руководство в этой области в связи с потребностью в широких исследованиях и испытаниях.

Эксплуатационные требования, утвержденные Аэронавигационной комиссией ИКАО в 1982 г. и изложенные в добавлении 1, могут быть в полной мере выполнены только с помощью бортового оборудования переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра. В 2006 году примерно 1/3 воздушных судов отвечала этому требованию (информация из различных источников, данные MIT/LL и результаты научных исследований с использованием действующего потолка обнаружения в 2/3). Описание успешной разработки такого бортового оборудования приводится в последующих пунктах.

Системы переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра

5.1.60 В 1990 г. ФАУ внесло изменение в нормативное положение FAR 121.358 – "Требования к системам обнаружения сдвига ветра на малых высотах", включив в него бортовые (прогнозирующие) системы переднего обзора для обнаружения и избежания сдвига ветра в качестве признанной альтернативы системам "ретроактивного типа". Как было упомянуто в предыдущем пункте, выполнение эксплуатационных требований ИКАО может быть обеспечено только с помощью систем переднего обзора. Начиная с 1990 г. ФАУ разрешило использование систем переднего обзора как только они будут разработаны, станут доступными и будут сертифицированы.⁴⁶ В результате расширения этого нормативного положения FAR четыре крупные авиакомпании Соединенных Штатов Америки обратились к ФАУ с просьбой продлить указанный в нормативном положении FAR 121.358 срок, к которому соответствующие требования должны быть выполнены, чтобы получить возможность завершить процесс оценки и сертификации систем переднего обзора. Эти четыре авиакомпании представили развернутый план с указанием своих целей в области оценки оборудования и временного графика ее завершения. Впоследствии ФАУ удовлетворила эти четыре заявки, сделав исключение, продляющее на два года срок выполнения установленных требований. Для оказания содействия в скорейшей разработке требуемой технологии ФАУ, НАСА и изготовители оборудования для обнаружения сдвига ветра, а также четыре авиакомпании, которым было сделано исключение в отношении сроков соблюдения требований, объединились в "Рабочую группу по системам переднего обзора для обнаружения сдвига ветра". Данная рабочая группа подготовила "план действий по обеспечению сертификации", который, в конечном счете, привел к разработке общей методологии сертификации и системных требований, удовлетворяющих упомянутому уровню.

5.1.61 Хотя некоторые из критериев и основных методов, уже применяемых при сертифицировании систем ретроактивного типа, могли бы тоже использоваться в отношении систем переднего обзора, при проведении моделированных испытаний это было невозможно, поскольку системы ретроактивного типа сталкиваются со сдвигом ветра в реальном масштабе времени, в то время как системы переднего обзора должны обнаруживать опасный сдвиг ветра впереди воздушного судна и рассчитывать прогнозируемое ухудшение его летно-технических характеристик вдоль траектории полета. В частности, используемый при моделировании набор атмосферных данных должен включать, помимо поля ветра, метеорологические условия во время сдвига ветра, которые могут повлиять на способность систем обнаруживать это явление. Кроме того, необходимо было получить с помощью летных испытаний модели интенсивных мешающих отражений от земли в представительных крупных аэропортах со значительным наземным движением вблизи них, а также

объединить эти данные с моделируемыми условиями сдвига ветра в рамках динамического диапазона обнаружения таких сдвигов сертифицируемой системой. Принятые ФАУ методология сертификации, требования к системе, а также требования к функциям оповещения, сигнализации и индикации бортовых систем переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра приводятся в добавлении 6.

5.1.62 В рамках программы ФАУ по разработке и сертификации бортовых систем переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра были испытаны следующие различные технологии:

- a) пассивная ИК-технология;
- b) доплеровская РЛС;
- c) РЛС с миллиметровой длиной волны;
- d) ЛИДАР.

Пассивная ИК-технология основывалась на обнаружении образующейся в микропорывах разности температур (более низкая температура) в сравнении с температурой окружающей атмосферы и соотношении ее с вертикальной скоростью (интенсивность) нисходящего потока. В качестве радиометрических датчиков использовались многоспектральные сканирующие приборы, работающие в атмосферном окне с длиной волны 10–14 мкм. Такие приборы испытывались также для целей обнаружения турбулентности при ясном небе (ТЯН) и вулканического пепла; последний случай описан в *Руководстве по облакам вулканического пепла, радиоактивных материалов и токсических химических веществ* (Doc 9691). Устранение помех в сигнале, вызываемых в частности, турбулентностью и/или осадками в пространстве между датчиком и целью, является трудной, но необязательно непреодолимой проблемой при использовании любых пассивных ИК-датчиков. Более того, если такие датчики не будут комбинироваться с другими ИК-датчиками, предназначенными, например, для обнаружения турбулентности/вулканического пепла, что в будущем может являться обязательным оборудованием, то для обнаружения сдвига ветра необходимо будет устанавливать отдельный специализированный ИК-датчик. Установка совершенно нового оборудования в уже "перегруженной" кабине летного экипажа, как правило, сталкивается со значительным сопротивлением со стороны изготовителей и авиакомпаний по целому ряду причин; поэтому обычно основные усилия направляются, где это практически осуществимо, на модификацию существующего оборудования кабины летного экипажа.

5.1.63 Указанное последнее соображение было удачно применено к уже имеющимся метеорологическим РЛС, которые устанавливаются на всех реактивных транспортных воздушных судах. В метеорадарах последнего поколения, поставляемых несколькими изготовителями бортовых метеорологических РЛС, уже используется доплеровская технология обработки сигналов для обнаружения зон турбулентности при грозах, и у них имеются подходящие антенны и стационарные когерентные передатчики диапазона X, которые можно модифицировать. Таким образом, оказалось возможным при условии модификации некоторых модулей и разработки дополнительных алгоритмов обнаружения/предупреждения о микропорывах использовать эти РЛС для обнаружения сдвига ветра, включая, возможно, ретроспективную модификацию существующих и уже установленных метеорадиолокаторов последней модели.⁴⁷ Тем не менее разработка бортовой доплеровской РЛС, предназначенной для обнаружения сдвига ветра, все еще была связана с целым рядом проблем. Необходимо было решить постоянную проблему "ложных сигналов тревоги", что характерно для всех датчиков. Затем возникла проблема связанных с отражениями от земли помех как в основных, так и боковых лепестках передатчика, что особенно важно для направленных вниз РЛС при заходе на посадку и при посадке в условиях городских/аэропортовых зданий и движения наземных транспортных средств и т. д. В любом случае указанные метеорадиолокаторы уже целенаправленно использовались пилотами для составления карт с видом сверху, когда отраженные от наземных предметов/топографических объектов сигналы являлись необходимыми входными данными.

Поэтому было ясно, что потребуется отдельный режим обнаружения сдвига ветра, при котором из отраженных сигналов устраняются помехи, вызванные отражениями от земли. Это предполагает наличие трех эксплуатационных режимов: режима определения метеоусловий и картографии, режима обнаружения турбулентности и режима обнаружения сдвига ветра.

5.1.64 Первоначальные исследования, связанные с бортовой доплеровской РЛС, были предприняты НАСА в 1980-х гг. с использованием различных оборудованных соответствующими приборами воздушных судов. Полученные в результате этих летных испытаний данные позволили определить рамки проблемы и указали на различные возможные решения, которые отрасли было бы целесообразно дополнительно изучить.⁴⁸ В рамках программы исследований НАСА был также получен основной набор параметров сдвига ветра, включая влажные и сухие микропорывы, который можно было бы использовать для моделирования подобных опасных факторов, в том числе при испытаниях бортового оборудования переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра.⁴⁹ По мере прогрессирования процесса разработки заинтересованные изготовители бортовых РЛС провели свои собственные летные испытания и также присоединились к четырем авиакомпаниям, которые запросили и получили двухлетнюю отсрочку в выполнении официальных требований при установке бортового оборудования предупреждения о сдвиге ветра. Показатель F, описанный в п. 5.1.56, также использовался для целей определения опасного уровня сдвига ветра в алгоритмах, разработанных для бортовых систем переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра. Были доработаны требования в отношении вероятности обнаружения и ложных сигналов тревоги. Была также отмечена необходимость тщательного технического обслуживания обтекателя. К середине 1990-х гг. ряд изготовителей бортовых РЛС успешно разработал и сертифицировал эффективные бортовые системы переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра, представляющие собой модификацию выпускаемых ими бортовых метеорадиолокаторов "последней модели". В виду важного значения этих систем в преодолении проблем сдвига ветра в добавлении 6 приводится подробное описание типового режима работы имеющегося в продаже бортового метеорадиолокатора в качестве бортового средства предупреждения о сдвиге ветра передней зоны обзора.

5.1.65 Параллельно с успешной разработкой и сертификацией бортовых систем переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра в 1998 г. ИКАО внесла поправки в соответствующий нормативный документ (Приложение 6 *"Эксплуатация воздушных судов"*, часть I *"Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты"*), в которых рекомендуется оборудовать этими системами турбореактивные воздушные суда со взлетной массой свыше 5700 кг. Указанные поправки основаны на перечне эксплуатационных требований, приведенном в добавлении 1 к настоящему руководству. При разработке предложений по поправкам было специально запрошено мнение государств и заинтересованных международных организаций относительно того, следует ли также применять требование об установке бортового оборудования переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра к турбовинтовым воздушным судам. В этом отношении было сочтено, что турбовинтовые воздушные суда обычно не столь подвержены воздействию сдвига ветра, как турбореактивные воздушные суда. Это в основном объясняется тем, что увеличение пилотом тяги на турбовинтовом воздушном судне практически незамедлительно увеличивает воздушный поток (струя воздушного винта), обтекающий крылья, и увеличивает воздушную скорость и подъемную силу. В случае воздушного судна, оснащенного турбореактивными двигателями, после максимального увеличения тяги пилотом необходимо, чтобы вся масса воздушного судна приобрела ускорение, прежде чем эти действия преобразуются в более высокую воздушную скорость и подъемную силу, а на это уйдет несколько жизненно важных секунд. Было решено, что на данном этапе применение указанной рекомендации следует ограничить турбореактивными самолетами, у которых максимальная сертифицированная взлетная масса свыше 5700 кг или на борту которых разрешен провоз более 9 пассажиров.

5.1.66 В случае РЛС, работающих в диапазоне миллиметровых волн, основные усилия при проведении научных исследований были сосредоточены на разработке системы, которая могла бы использоваться для посадок по приборам практически при нулевой видимости, позволяя пилоту

видеть ВПП на индикаторе на лобовом стекле (HUD) даже при посадке в условиях дождя и тумана. Если такие исследования увенчаются успехом, предполагается, что в существующей системе будет добавлен режим переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра. Результаты являются обнадеживающими, и научные исследования продолжаются, однако подобная система еще не представлена для сертификации.

5.1.67 В течение последних двух десятилетий возможное использование бортовых ЛИДАРОВ для обнаружения сдвига ветра было предметом научных исследований в целом ряде государств. Научно-исследовательский институт Соединенного Королевства (RAE) в Бедфорде и НАСА занимаются исследованиями в области использования доплеровского ЛИДАРА для измерения скорости и направления ветра в полете.^{50,51,52} В основе доплеровского ЛИДАРА лежит точно такой же принцип, что и доплеровской РЛС, но в нем используется когерентное инфракрасное излучение, производимое заполненным CO₂ инфракрасным лазером (см. пп. 5.1.17–5.1.47). В системе RAE, называемой лазерной системой истинной воздушной скорости (LATAS), луч лазера фокусировался на удалении 500–600 м впереди воздушного судна и измерял движение воздуха в данной точке относительно движущегося источника излучения. Таким образом, система была способна сообщать пилоту о вероятных изменениях воздушной скорости по причине сдвига ветра впереди воздушного судна с упреждением около четырех секунд. Фактически прибор измерял движение аэрозольных частиц в воздухе относительно воздушного судна и вдоль траектории полета (встречный/попутный ветер), то есть при такой конструкции он был неспособен измерять вертикальную и поперечную составляющие ветра (например, при нисходящем порыве). Однако, если бы система LATAS использовалась в режиме конического сканирования, можно было бы измерять также вертикальную и поперечную составляющие ветра впереди воздушного судна. Сканирующий луч может также направляться вверх или вниз вдоль намеченной траектории полета в процессе посадки или взлета. Воздушное судно RAE HS-125, на котором была установлена данная система, принимало также участие в осуществлении проекта JAWS (см. п. 3.5.16). По имеющимся отзывам, эта система была вынослива, надежна и обладала малым весом; требовала минимального технического обслуживания, регулирования и калибровки и могла измерять "воздушную скорость" почти на 800 м впереди воздушного судна при ясном небе или в облаках. Ее рабочие характеристики были намного лучше на высотах ниже 6 км (20 000 фут), где обычно имеется избыток аэрозольных частиц, и, хотя отражение сигнала на высотах, превышающих этот уровень, ухудшается, измерения ветра проводились на высотах вплоть до практического потолка воздушного судна HS-125 (13 км (43 000 фут)).

5.1.68 В соединенных Штатах Америки доплеровские ЛИДАРЫ были в течение целого ряда лет предметом научных исследований и разработок как средство измерения скорости ветра^{53,54} и обнаружения турбулентности при ясном небе (ТЯН). Хотя эти системы способны измерять скорость ветра впереди воздушного судна, ни одна из них не была представлена для сертификации в качестве системы переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра. Однако в случае ТЯН это может завершиться сертификацией системы ЛИДАР, которая, возможно, будет выполнять двойную задачу: обнаружение/предупреждение о сдвиге ветра и ТЯН. Указанное последнее метеорологическое явление за прошедшее десятилетие приобрело особое значение в связи с целым рядом авиационных происшествий, причинивших серьезные телесные повреждения многим пассажирам и членам экипажа, в том числе с летальным исходом, в результате сильной турбулентности при ясном небе на крейсерском эшелоне полета. Некоторые из самых поздних работ в этой области⁵⁵ являются весьма обнадеживающими, и не исключено, что бортовые системы переднего обзора для обнаружения/предупреждения о турбулентности при ясном небе в будущем могут стать "обязательным" оборудованием на реактивных транспортных воздушных судах. Исследования показывают, что даже умеренную ТЯН можно обнаруживать впереди воздушного судна на расстоянии 5–8 км и вплоть до 100 с полета. Такое заблаговременное предупреждение могло бы позволить изменить высоту полета и/или проверить, все ли пассажиры и члены экипажа надлежащим образом и надежно пристегнуты. Недавние исследования, касающиеся уровня турбулентности, о которой должно сообщать находящееся в полете воздушное судно, указывают на параметр, называемый "скорость затухания вихря (EDR)", который представляет собой приемлемую

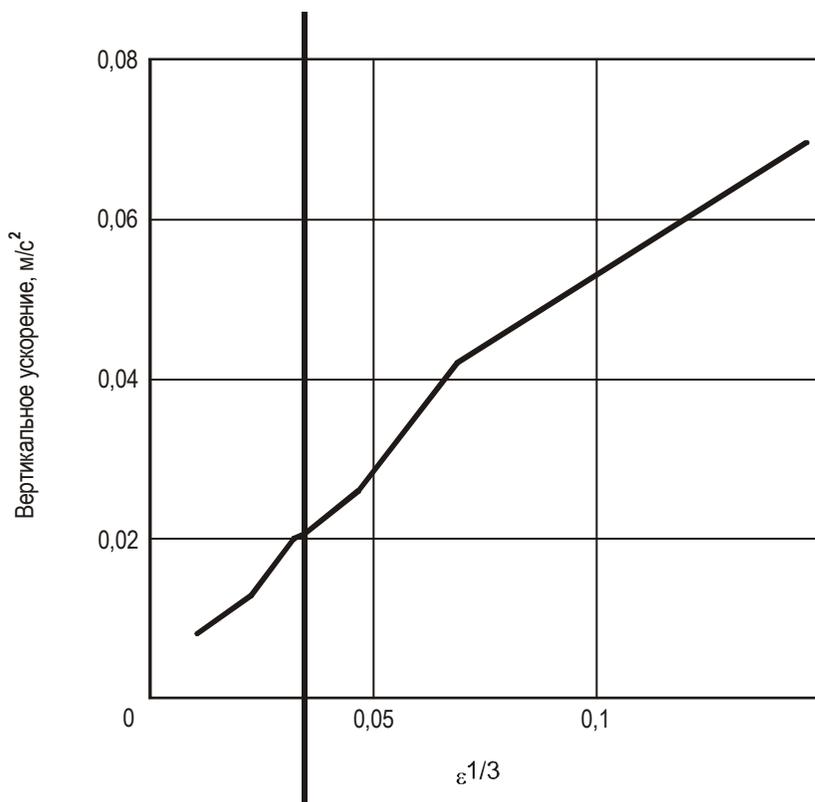


Рис. 5-8. Изменение вертикального ускорения относительно кубического корня скорости затухания вихря
(Сорейд, Боуг, Эхернбергер, Ханнон и Боудл, 2000 г.)

единицу измерения турбулентности и обоснованный предсказатель повышенного изменения в вертикальном ускорении. Пример сравнения вертикального ускорения и EDR при летных испытаниях приводится на рис. 5-8. Параметр EDR представляет особый интерес, так как в требованиях ИКАО он уже служит основным критерием для автоматического представления донесения о турбулентности с борта воздушного судна. Поскольку параметр EDR может быть включен в качестве переменной в числовые модели прогноза атмосферных условий, его потенциальное использование в будущих бортовых системах обнаружения/предупреждения четко замкнет круг, где данные систем наблюдения/предупреждения/автоматического представления донесений о турбулентности и сводки прогнозов турбулентности в особых явлениях погоды (SIGWX), составляемые Всемирной системой зональных прогнозов (ВСЗП) для полетной документации, будут основываться на одном и том же параметре.

5.1.69 Индикаторы на лобовом стекле (HUD) в течение многих лет являлись стандартным оборудованием истребителей, а также устанавливались некоторыми авиакомпаниями на коммерческих воздушных судах, но не специально для целей предупреждения о сдвиге ветра. HUD представляет собой систему предоставления пилоту существенной информации по пилотированию, отражаемой от частично "зеркальной", но прозрачной стеклянной пластины, установленной под углом между линией зрения пилота и лобовым стеклом кабины. Пилот может, как обычно, видеть все снаружи через стеклянную пластину и лобовое стекло; однако одновременно выражаемая символами информация

по пилотированию проецируется на стеклянную пластину и часть ее отражается в сторону пилота, непосредственно накладываясь на вид снаружи. Информация по управлению всегда находится непосредственно на виду, и пилоту не нужно смотреть вниз, изменяя фокусное расстояние глаз для обзора ряда различных пилотажных приборов. В некоторых государствах были проведены испытания средств обеспечения, помимо обычной символической информации на стандартных HUD, специальной индикации траектории полета, например, символа индикатора траектории полета (FPI), представляющего точку приземления на ВПП, спроецированную по действительной траектории, и символа "потенциальной траектории полета" (PFP), указывающего на ускорение или торможение воздушного судна (при допущении того, что FPI выдерживается по прицельной точке посадки, например рулем высоты). Когда имеет место взаимное наложение двух символов, воздушное судно ни ускоряется, ни тормозится, а присутствие сдвига ветра указывается посредством разделения символов на индикаторе.⁵⁶ Большинство пилотов, принимавших участие в испытаниях HUD, отмечало, что эти испытания значительно облегчали применение специальных приемов пилотирования в моделируемых условиях сдвига ветра.

МОДЕЛИ СДВИГА ВЕТРА И ТУРБУЛЕНТНОСТИ

5.1.70 Настоящий раздел охватывает модели сдвига ветра и турбулентности, а также их использование при сертификации бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра и пилотажных тренажеров. В Соединенных Штатах Америки разработка моделей ветра осуществлялась быстрыми темпами, в основном, в рамках программы ФАУ по сдвигу ветра и турбулентности с середины 1980-х гг. В этом контексте указанные модели предназначались для многих целей, и был получен целый ряд вариантов, чьи относительные преимущества необходимо было вначале оценить, чтобы отобрать наиболее подходящие модели для эксплуатационного использования. Были разработаны модели различных уровней сложности, при этом самыми сложными были модели, применяемые для научно-исследовательских целей (трех- и четырехмерные), в то время как те из них, которые предназначались для пилотажных тренажеров для ежедневной подготовки пилотов, в силу очевидных причин являются, возможно, наименее сложными (как правило, двумерные). Данные о ветре, которые использовались в качестве основы для первых моделей сдвига ветра в процессе научных исследований, были получены из двух главных источников: проект JAWS и последующие наборы данных от других связанных с этой проблемой проектов, а также воспроизведенные данные о ветре из материалов авиационных происшествий, где сдвиг ветра указывался в качестве одного из факторов, способствовавших этим происшествиям⁵⁷ (см. п. 3.5.16 и далее). Однако модели сдвига ветра и турбулентности также срочно требовались для разработки наземных и бортовых систем обнаружения/предупреждения, для целей сертификации бортовых систем обнаружения/предупреждения с использованием моделируемых условий и для пилотажных тренажеров, применяемых для обучения пилотов.

5.1.71 Первоначально модели, именуемые как модели этапа I, отобранные ФАУ для целей сертификации бортовых систем обнаружения сдвига ветра "ретроактивного типа" и для использования в пилотажных тренажерах, основывались на информации, полученной от самописцев полетных данных, находившихся на борту воздушных судов, которые столкнулись с реальными авиационными происшествиями, связанными со сдвигом ветра. Такой подход ориентировал эти модели на известные "опасные" виды сдвига ветра и позволил получить целый спектр параметров полета воздушного судна, зарегистрированных во время встреч со сдвигом ветра, таких как воздушная скорость, курс, абсолютная высота и ускорение воздушного судна, которые были достаточными для разработки модели полей или профилей ветра, представлявших собой опасный сдвиг ветра.

Примечание. В тот период большинство воздушных судов были оборудованы 4-канальными самописцами полетных данных, хотя для более поздних типов самописцев введено требование о регистрации еще большего объема данных.

Модели этапа I были сравнительно простыми и основывались на данных, полученных в результате двух связанных со сдвигом ветра авиационных происшествий ("Боинг-727" авиакомпании "Истерн эрлайнз" в Нью-Йорке и DC-10 авиакомпании "Иберия" в Бостоне). Эти модели были признаны неудовлетворительными для использования в пилотажных тренажерах. В результате ФАУ заключило контракт с SRI Интернэшнл, предусматривающий формирование группы экспертов из соответствующих научных областей, таких как метеорология, гидродинамика и технология моделирования, для доработки этих моделей без утери важного связующего звена с реальными авиационными происшествиями, вызванными сдвигом ветра, на базе которых они были созданы. Совместные усилия позволили получить поле ветра, являющееся более репрезентативным для опасного сдвига ветра, которое было включено в качестве примера в Консультативный циркуляр ФАУ 1983 г. *"Критерии допуска к эксплуатации бортовых систем обеспечения оповещений о сдвиге ветра и указаний о действиях в полете"*.

5.1.72 После опубликования данных о поле ветра, полученных с помощью первоначальной модели SRI, используемые ФАУ модели сдвига ветра для целей сертификации бортовых систем, апробирования наземных систем, обучения пилотов и т.д. постоянно пересматривались и совершенствовались. В настоящее время имеется достаточно стабильный набор моделей, относительная сложность которых соответствует их заданному конкретному назначению. В этом плане для сертификации бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра используется набор подробных данных о полях ветра, известный как TASS (система моделирования условий в районе аэродрома) НАСА. Описание использования и содержания указанных наборов данных для целей моделирования, а также применяемых сценариев сертификации приводится в таблице A7-1 добавления 7. В таблице A7-1 показано, что эти модели включают определенное сочетание воспроизведенных данных авиационных происшествий, данных аэродромного зондирования и производных данных зондирования, иллюстрируя конкретные ситуации сдвига ветра и полетные данные.

5.1.73 Модели поля ветра в пилотажных тренажерах, используемых для обучения пилотов, по материально-техническим и экономическим причинам не могут быть столь же сложными и всеобъемлющими (и обычно в этом нет необходимости), как наборы данных поля ветра TASS, используемые при сертификации бортовых систем. Поля ветра, рекомендованные ФАУ для тренажеров, применяемых для подготовки пилотов, представляют собой, как правило, двухмерные профили, однако каждый пункт данных содержит составляющие u , v и w вдоль глассады с углом наклона 3° и траекторий начального набора высоты, полученные из данных об авиационных происшествиях, хотя некоторые эксплуатанты используют трехмерные модели микропорыва. Подготовка пилотов посвящена значительная часть учебных средств ФАУ по сдвигу ветра, которые содержат определенный объем обосновывающих их данных, в том числе набор рекомендуемых профилей ветра для случаев сдвига ветра (см. главу 6 по вопросам подготовки пилотов).

5.2 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СДВИГА ВЕТРА

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5.2.1 На аэродромах, где имеют место сдвиги ветра, но отсутствует необходимое рабочее оборудование для наблюдения или обнаружения и измерения сдвига ветра (о чем говорилось в разделе 5.1), прогнозирование сдвига ветра представляет собой трудную задачу. В целом единственный реальный подход заключается в попытках предсказать метеорологические явления, которые, как известно, могут порождать сдвиг ветра с учетом того, что значительный сдвиг ветра на самом деле может и не произойти, и, даже если он произойдет, будет невозможно предсказать его интенсивность. Эти трудности также означают нехватку подробной климатологической статистики в

отношении частоты возникновения, областей распределения и интенсивности сдвига ветра на малых высотах вблизи аэродромов.

5.2.2 За последние годы была отмечена активизация целенаправленных усилий в области научных исследований, при этом особенно заметный прогресс достигнут на двух фронтах. Во-первых, расширяется применение доплеровских РЛС при исследованиях структуры и динамики гроз и связанного с ними сдвига ветра и, во-вторых, происходит повседневное наращивание всемирной базы данных о случаях сдвига ветра на посадке и взлете, получаемых от системы AIDS, которая установлена на большинстве крупных транспортных реактивных самолетов (см. раздел 3.7). Эти усилия обеспечивают все более ясное понимание сдвига ветра, и, в частности, позволяют сосредоточить внимание на тех конкретных видах сдвига ветра, которые представляются для воздушных судов наиболее опасными.

5.2.3 Между тем на большинстве аэродромов при прогнозировании приходится применять различные эмпирические правила, которые были разработаны на основе метеорологической теории и широких сведений о конкретном районе. Примером является комплекс правил, применявшихся Метеорологическим управлением Соединенного Королевства в процессе экспериментального прогнозирования сдвига ветра в 1977 г. Существующие правила, разработанные на основе этих испытаний и используемые на практике с 1985 г., приведены в добавлении 8. Аналогичные правила, измененные применительно к различным условиям, используются в настоящее время Национальной службой погоды Соединенных Штатов Америки.⁵⁸

5.2.4 Прогноз погоды в конкретном районе обычно содержит информацию об ожидаемых явлениях под тремя основными рубриками: "тип", "время" и "интенсивность", т. е. какие явления ожидаются, когда, как долго и с какой силой они будут происходить. В прогнозе сдвига ветра вопрос об интенсивности наиболее важен. Простой прогноз или сообщение о "сдвиге ветра на траектории захода на посадку" в какой-то момент времени настораживает пилотов, выполняющих заход на посадку, и в одном только этом отношении уже представляет полезную информацию. Однако что именно пилоту действительно надо знать – это сила сдвига, чтобы соразмерить ее с возможными последствиями для воздушного судна. Ввиду той важной роли, которую играет интенсивность сдвига ветра, следует рассмотреть многие проблемы, связанные с классификацией сдвига ветра по его интенсивности.

ИНТЕНСИВНОСТЬ СДВИГА ВЕТРА

5.2.5 В главе 2 рассматриваются различные методы расчета сдвига ветра, а также применяемые в настоящее время различные единицы измерения. По традиции сдвиг ветра как разность между двумя векторами в разных точках пространства обычно рассчитывается в единицах скорости на данное расстояние, например в уз на 100 фут или в м/с на 30 м. На первый взгляд кажется, что классификация интенсивности сдвига ветра по эмпирически выведенным значениям в уз/100 фут или м/с на 30 м, сведенным в классы, является несложным делом. Такой подход использовался на Пятой Аэронавигационной конференции (Монреаль, 1967 г.), где рекомендовались промежуточные критерии интенсивности сдвига ветра, показанные в таблице 5-4. В этой первоначальной таблице интенсивность сдвига ветра была представлена четырьмя классами – от слабого до очень сильного, выраженными в уз на 30 м; критерии качества, основанные на воздействии, которое каждый из классов сдвига ветра может оказывать на управление воздушным судном, были добавлены позднее.

5.2.6 В тот период полагали, что преобладающая угроза сдвига ветра связана с фронтами, включая фронты порывов при грозах и профили сильных ветров вблизи земли, которые легко выразить в виде градиентов скорости ветра. Однако впоследствии стало очевидным, что такой

относительно простой подход к классификации интенсивности сдвига ветра не является полностью удовлетворительным в силу следующих причин:

- a) сдвиг ветра одного и того же класса интенсивности (согласно классификации, предложенной в таблице 5-4) может по-разному воздействовать на каждый тип воздушного судна; то, что может для одного типа воздушного судна классифицироваться как очень сильный сдвиг ветра, для другого он будет лишь умеренным. Это особенно справедливо в отношении воздушных судов крайне различной категории массы;
- b) воздействие, оказываемое сдвигом ветра на воздушное судно, зависит, помимо прочего, от скорости прохождения через сдвиг ветра, расстояния, на протяжении которого он действует, и, следовательно, от времени подверженности его воздействию;
- c) информация об интенсивности сдвига ветра в единицах скорости и расстояния не является в прямом смысле полезной для пилота воздушного судна, летящего по глиссаде с углом наклона 3°, поскольку пилот не мыслит такими категориями, так как они не связаны ни с одним из обычных бортовых приборов. Пилот мыслит категориями воздушной скорости, и таким образом, изменения скорости – это ускорение или торможение в узлах в секунду или в единицах g;
- d) наиболее опасен сдвиг ветра, связанный с грозами, т. е. микропорывы, при которых все три составляющие ветра меняются одновременно;
- e) граничные значения классов интенсивности, относящиеся к сдвигу горизонтальных составляющих ветра и представленные в таблице 5-4 (*исключая* нисходящие потоки), очевидно, не подтверждаются анализом данных AIDS, произведенным в институте RAE в отношении свыше 9000 посадок, выполненных во всем мире на самолетах "Боинг-747" авиакомпании "Бритиш эруэйз". В этом контексте самолеты встречались с условиями сдвига ветра, классифицированного согласно критериям таблицы 5-4 как "очень сильный", но, очевидно, не представляющего сколько-нибудь сложной проблемы для пилота при выполнении посадки.⁵⁹

Таблица 5-4. Промежуточные критерии интенсивности сдвига ветра, рекомендованные Пятой Аэронавигационной конференцией (Монреаль, 1967 г.)

Слабый	— от 0 до 2 м/с (от 0 до 4 уз) включительно на 30 м (100 фут)
Умеренный	— от 2,5 до 4 м/с (от 5 до 8 уз) включительно на 30 м (100 фут)
Сильный	— от 4,5 до 6 м/с (от 9 до 12 уз) включительно на 30 м (100 фут)
Очень сильный	— свыше 6 м/с (12 уз) на 30 м (100 фут)

5.2.7 Тот факт, что остается целый ряд нерешенных проблем, относящихся к "промежуточным критериям интенсивности сдвига ветра", чревато двумя основными последствиями. Во-первых, сейчас представляется невозможным использовать определительные термины "слабый", "умеренный", "сильный" и "очень сильный" применительно к сдвигу ветра в положениях, касающихся этого явления, в Приложении 3 "*Метеорологическое обеспечение международной авионавигации*" (главы 4, 5 и 7). Следовательно, в положениях Приложения 3 требуется представлять донесения, сообщения, прогнозы и предупреждения о сдвиге ветра без определения его по интенсивности. И все же в примечании 2 после пункта 6.2.4 добавления 6 к Приложению 3 говорится, что "пилоты в донесениях о сдвиге ветра могут использовать такие классифицирующие термины, как "умеренный",

"сильный" или "очень сильный", основанные в значительной степени на их субъективной оценке интенсивности имеющегося сдвига ветра, и такие оценки подлежат включению в донесения без изменений. Во-вторых, несмотря на ряд предложений по усовершенствованию промежуточных критериев, наблюдается тенденция избегать этого вопроса, положив в основу будущих систем предупреждения (как бортовых, так и наземных) вычисление ожидаемой аэродинамической реакции воздушного судна конкретного типа на моделируемый в стандартном имитаторе сдвиг ветра (более подробная информация содержится в пп. 5.2.8–5.2.14).

5.2.8 Одно из предложений по усовершенствованию критериев интенсивности сдвига ветра было сделано Вудфилдом и Вудсом в их анализе всемирных данных о сдвиге ветра, полученных по результатам свыше 9000 посадок самолетов "Боинг-747" авиакомпании "Бритиш эруэйз".⁵⁹ В основу их предложения положен тот факт, что на практике воздушные суда подвергаются воздействию двух главных факторов сдвига ветра. Первым является быстрота изменения скорости ветра в условиях сдвига по сравнению с ускорением, достигаемым воздушным судном при имеющемся избытке тяги (как правило, 6 км/ч/с (3 уз/с) для больших реактивных транспортных воздушных судов в посадочной конфигурации). Вторым фактором является общая величина изменения скорости ветра относительно запаса скорости по отношению к скорости сваливания (как правило, 20 % от V_{ucx} или около 12,5–15 м/с (25–30 уз) для больших реактивных транспортных воздушных судов). В целом сдвиг ветра будет представлять проблему только в том случае, если быстрота изменения скорости ветра и величина сдвига значительны. Это можно пояснить на примере двух крайних случаев: при одной крайности воздушное судно может справляться с изменением скорости ветра даже на 50 м/с (100 уз), если быстрота изменения составляет лишь 0,05 м/с/с (0,1 уз/с); аналогичным образом, в другом крайнем случае при изменении скорости ветра всего на 2,5 м/с (5 уз), даже такая быстрота изменения, как 5 м/с/с (10 уз/с), также не составляет проблемы.

5.2.9 Далее, рассмотрение вопроса о реакции воздушного судна показывает, что если быстрота изменения скорости ветра превышает ускорение, достигаемое при полной тяге, то величина изменения скорости ветра преобладает над реакцией воздушного судна. И наоборот, если быстрота изменения скорости ветра невелика, величина этого изменения не будет иметь значения. На этом основании исследователи предлагают при определении критериев интенсивности взять в качестве главных факторов быстроту изменения скорости встречного ветра и отношение общей величины изменения скорости встречного ветра к нормальной скорости воздушного судна во время захода на посадку. Исследователи предлагают следующую формулу фактора интенсивности сдвига ветра "I":

$$I = \frac{dV}{dt} \cdot \left(\frac{\Delta V}{V_{app}} \right)^2 = \frac{1}{V_{app}} \left| \frac{\Delta V}{R} \right|^{\frac{1}{3}},$$

где $\frac{dV}{dt}$ – быстрота изменения скорости ветра;

ΔV – общая величина изменения скорости ветра;

R – длина уклона (расстояние в метрах, на протяжении которого происходит изменение скорости ветра или время воздействия в секундах, если известна воздушная скорость);

V_{app} – нормальная скорость захода на посадку.

Первичным параметром является $\frac{\Delta V}{R}^{\frac{1}{3}}$ или "нормализованный" сдвиг ветра.

Предлагаемая форма границ интенсивности показана на рис. 5-9.⁵⁹ Исследователи рекомендуют испытать такие критерии интенсивности на соответствующих пилотажных тренажерах.

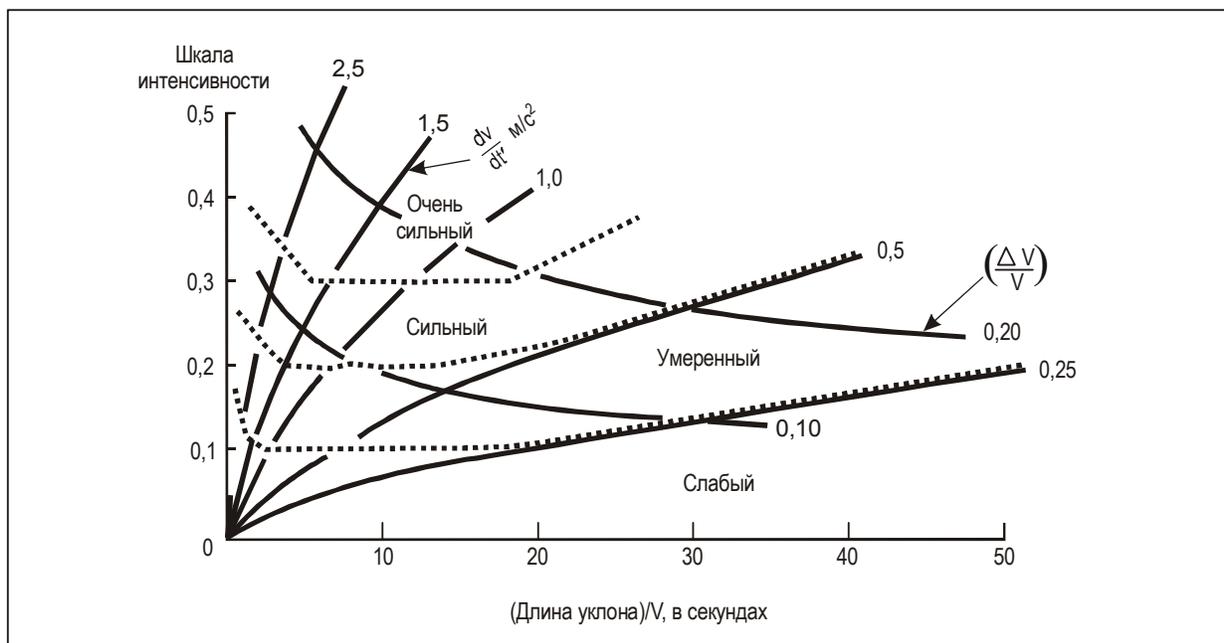


Рис. 5-9. Предлагаемая форма граничных значений интенсивности
(Вудфилд и Вудс, 1984 г.)

5.2.10 Иной подход к проблеме определения интенсивности сдвига ветра предложен Сволинским,⁶⁰ который обращает внимание на то, что в предложенном Вудфилдом и Вудсом коэффициенте интенсивности⁵⁹ не учитываются изменения вертикальной составляющей ветра (см. п. 5.2.9). Предложение Сволинского основано на учете энергии (потенциальной и кинетической) при заходе на посадку/посадке и именуется "энергетической высотной погрешностью" (ΔH_E), выражающейся следующим образом:

$$\Delta H_E = \frac{(V^2 - V_{исх}^2)}{2g} + H - H_{исх},$$

где V , $V_{исх}$ — соответственно воздушная скорость на относительной высоте H и исходная скорость захода на посадку на исходной высоте $H_{исх}$.

5.2.11 Описание метода расчета показателя F и его все возрастающее значение при определении критериев опасного сдвига ветра для бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра и пилотажных тренажеров приводится в п. 5.1.56 и добавлении 5.

5.2.12 Одним из путей устранения проблемы общей классификации сдвига ветра по интенсивности является разработка правил утверждения бортовых систем обнаружения сдвига ветра, основанных на реакции типов воздушного судна данного типа на ряд созданных для имитатора моделей очень сильного сдвига ветра. Такого курса придерживались Соединенные Штаты Америки, когда они издали консультативный циркуляр АС 120-41, датированный июлем 1983 г., "Критерии допуска к эксплуатации бортовых систем обеспечения предупреждений о сдвиге ветра и указаний о действиях в полете".⁶¹ В циркуляре приводится набор моделей сдвига ветра в двух измерениях (т. е. значение ветра только в плоскости траектории захода, хотя указаны все три составляющие ветра), разработанных на основе восстановленных данных авиационных происшествий, а также

метеорологических данных и данных из других источников, в условиях которых может испытываться на имитаторе бортовая система обнаружения. Для таких испытаний очень сильный сдвиг ветра определяется как:

"Очень сильный. Сдвиг ветра такой интенсивности и длительности, который при встрече с ним превысил бы летно-технические характеристики *воздушного судна конкретного типа* и вызвал непреднамеренную потерю управления или соприкосновение с землей, если бы пилот не получал информацию от бортовой системы обеспечения предупреждений о сдвиге ветра и указаний о действиях в полете, которые соответствуют критериям, содержащимся в пункте 4 б)".

Пункт 4 б) консультативного циркуляра гласит:

"Бортовая система обеспечения предупреждений о сдвиге ветра и указаний о действиях в полете. Устройство или система, определяющая присутствие явления сдвига ветра и обеспечивающая пилота своевременным предупреждением и указаниями о действиях для того, чтобы:

- 1) *при заходе на посадку/уходе на второй круг* воздушное судно могло совершать полет с использованием максимальных располагаемых летно-технических характеристик без непреднамеренной потери управления, сваливания и соприкосновения с землей;
- 2) *при взлете и наборе высоты* воздушное судно могло совершать полет на участке начального или последующего набора высоты с использованием максимальных располагаемых летно-технических характеристик при сохранившемся избытке энергии без непреднамеренной потери управления или соприкосновения с землей".

Вышеизложенное подразумевало, что существует еще один класс интенсивности сдвига ветра, помимо очень сильного, который не может быть безопасно преодолен даже при использовании бортовых систем обнаружения сдвига ветра. В тот период указанный консультативный циркуляр был рассчитан на "ретроактивный тип" бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра.

5.2.13 Хотя в строгом смысле слова показатель F сам по себе не является мерой интенсивности сдвига ветра, как это описано в п.5.1.56, он оказался очень полезным показателем интенсивности сдвига ветра в условиях изменяющегося энергетического состояния воздушного судна, вызванного сдвигом ветра. Этот показатель различен в зависимости от конкретной ситуации и используется главным образом при сертификации бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра и, таким образом, в алгоритмах системы, которые определяют порог предупреждений, а также в пилотажных тренажерах. Однако, поскольку показатель F в таких случаях сравнительно слабо зависит от воздушной скорости, для посадки и взлета выбираются номинальные значения воздушной скорости, например 240, 300 и 400 км/ч (120, 150 и 200 уз), которые приблизительно охватывают типичные воздушные скорости при посадке и взлете большинства реактивных транспортных воздушных судов. Как правило, показатель F представляется наиболее подходящим параметром для использования в автоматизированном оборудовании, таком, как бортовые системы предупреждения о сдвиге ветра и пилотажные тренажеры. В других же случаях для целей предупреждений (особенно если этот процесс неавтоматизирован) "интенсивность" сдвига ветра будет по-прежнему указываться в виде уменьшения/увеличения воздушной скорости (км/ч или уз) на участке подходящей протяженности, например 1–4 км, а в случае сильных вертикальных составляющих – просто как "микропорыв".

5.2.14 В связи с началом разработки бортовых систем переднего обзора для предупреждения о сдвиге ветра ФАУ издало техническое положение (TSO) C117 *"Бортовые системы предупреждения о сдвиге ветра и отклонения от него для транспортных самолетов"*, датированное 1990 г.⁶² В

указанном TSO определение термина "очень сильный" сдвиг ветра для целей сертификации было несколько изменено и сформулировано следующим образом:

"Очень сильный сдвиг ветра. Сдвиг ветра такой интенсивности и длительности, который превысил бы летно-технические характеристики воздушного судна конкретного типа и мог бы вызвать непреднамеренную потерю управления или соприкосновение с землей, если бы пилот не получал информацию от бортовой системы обеспечения предупреждений о сдвиге ветра и указаний о действиях по избежанию встречи с ним, которая соответствует критериям, содержащимся в данном TSO".

Как указывалось в п. 5.1.61, многие из критериев, уже успешно использующихся для целей сертификации систем "ретроактивного типа", можно применять к системам "переднего обзора". Однако к 1990 г. Боулс предложил показатель F, который с тех пор определяет "интенсивность" сдвига ветра, обнаруживаемого как ретроактивными системами, так и системами переднего обзора, описанными соответственно в пп. 5.1.56 и 5.1.57.

НЕУСТОЙЧИВЫЙ И УСТОЙЧИВЫЙ СДВИГ ВЕТРА

5.2.15 С точки зрения прогнозирования сдвиг ветра на малых высотах удобно классифицировать по двум типам: как неустойчивый или устойчивый. Хотя такое подразделение и является до некоторой степени искусственным и ни в коей мере не абсолютным, в большинстве случаев сдвиг ветра можно отнести в основном к одному или другому из этих типов (см. таблицу 5-5). Устойчивый сдвиг ветра, который может быть связан, например, с заметными температурными инверсиями на малых высотах, горными волнами или обтеканием потоком воздуха препятствий, имеет тенденцию затрагивать определенный район и сохраняется в течение относительно длительных периодов времени (измеряемых часами). В настоящее время такой сдвиг ветра практически прогнозируется в ряде государств с определенной долей успеха. С другой стороны, неустойчивый сдвиг ветра, который может быть связан с конвективной облачностью и особенно с грозами, обычно скоротечен (измеряется минутами), маломасштабен, перемещается с большой скоростью и обладает высокой интенсивностью, что делает его прогнозирование чрезвычайно трудным. К сожалению, в силу ряда причин неустойчивый тип сдвига ветра на малых высотах гораздо более опасен для авиации.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО СДВИГА ВЕТРА

Прогнозирование сдвига ветра, связанного с фронтами воздушной массы

5.2.16 Прогнозирование развития и движения фронтальных поверхностей базируется на отработанной и успешно используемой в течение многих лет методике. Тот факт, что сдвиг ветра на малых высотах происходит при прохождении фронтальной поверхности (т. е. сдвиг ветра, связанный с фронтальными грозами, при этом не учитывается), лишь добавляет еще одно явление к уже имеющемуся длинному перечню явлений, представляющих интерес для авиации и связанных с фронтами. Конкретным аспектом анализа фронтов, которому придается дополнительное значение, очевидно, в силу необходимости прогнозирования сдвига ветра на малых высотах, является наклон фронтальных поверхностей. Подробное описание сдвига ветра, связанного с фронтальными поверхностями, содержится в пп. 3.3.1–3.3.3 и 3.4.1–3.4.2 главы 3. Из этого описания следует, что в отношении сдвига ветра наиболее важными аспектами фронтальных поверхностей являются интенсивность фронта, скорость его перемещения и наклон поверхности.

Таблица 5-5. Классификация сдвига ветра для целей прогнозирования

<i>Тип сдвига ветра</i>	
<i>Неустойчивый</i>	<i>Устойчивый</i>
Конвективный (включая фронты порывов, нисходящие порывы, микропорывы и торнадо)	Связанный (в основном) с фронтальными поверхностями воздушных масс
Связанный (в основном) с гравитационными волнами	Связанный (в основном) с фронтальными поверхностями морских бризов Связанный с горными волнами Связанный с препятствиями на пути преобладающего потока воздуха Связанный со струйными течениями на малых высотах

5.2.17 Приемы и методы определения местоположения, развития и перемещения фронтов воздушной массы достаточно хорошо известны, чтобы снова о них говорить. Эти приемы и методы издавна основывались на детальном синоптическом анализе наблюдений у поверхности земли и в верхних слоях атмосферы. За последние 20 лет синоптический анализ значительно расширился за счет использования информации, поступающей от спутников на полярной орбите от геостационарных метеорологических спутников. Первые предоставляют информацию, относящуюся к конкретному району, каждые 6 часов, тогда как последние обеспечивают квазинепрерывное наблюдение. Геостационарные оперативные спутники для исследования окружающей среды (GOES), помимо изображения облачности каждые 30 мин обеспечивают также в реальном масштабе времени многоспектральные картины распределения температуры и водяных паров в атмосфере и приблизительно часовые вертикальные профили температуры и влажности. Доступ к накопленному объему данных обеспечивает возможность выполнения очень точного анализа фронтов в широком масштабе. Эти методы дополняются в местном масштабе использованием РЛС для слежения за образованием, мощностью и перемещением связанных с фронтами областей осадков (как конвективных, так и неконвективных).

5.2.18 Как только определено местоположение фронта и путем последовательного слежения за его перемещением вычислены его скорость и направление движения относительно конкретного аэродрома, следующий шаг заключается в определении наклона фронта в той части, которая представляет особый интерес для авиации, т. е. ниже 500 м (1600 фут) над уровнем земли (AGL). Простейшим способом является отметить по времени местонахождение фронта на поверхности земли по карте и одновременно определить по данным радиозонда/спутника высоту фронтальной поверхности над землей впереди приземного теплого фронта или позади холодного. Может потребоваться и более подробный анализ (особенно изобарный^е) с использованием поперечного разреза фронтальной поверхности. В прошлом изобарный анализ был чрезвычайно трудоемким процессом, однако с недавних пор составление таких анализов в реальном масштабе времени при помощи ЭВМ стало сравнительно простой задачей. При известных скорости движения и наклоне фронта можно получить некоторое представление о периоде времени, в течение которого сдвиг, имеющий место вдоль фронтальной поверхности, пересечет район аэродрома, особенно коридоры захода на посадку и начального набора высоты, и выйдет за его пределы. Пример простых, но эффективно используемых в этом случае номограмм, показан на рис. 5-10.⁵⁸ Для каждого фронта показаны только две типичные скорости и подборка типичных наклонов, но получить на их основе данные для других скоростей и наклонов, используя соответственно пропорцию и интерполяцию, будет уже несложно.

е. Подробно такой анализ поперечного разреза рассматривается в работе Сосье "Принципы метеорологического анализа", 1955 г.

5.2.19 Возникает вопрос, нужно ли так подробно рассматривать все фронты, или же существуют какие-то критерии, позволяющие определить, какие фронты могут заключать в себе сдвиг ветра на малых высотах (т. е. неконвективный), имеющий значение для авиации. Сдвиг поперек фронтальной поверхности пропорционален интенсивности фронта, которая в свою очередь пропорциональна температурному градиенту в поперечной плоскости фронта. В этом отношении был предложен и успешно используется критический температурный градиент 5°C на каждые 90 км (50 м. миль).⁵⁸ Опыт изучения сотен фронтов на том или ином конкретном аэродроме позволит в конечном итоге добиться уточнения таких критериев. На наличие существенного сдвига ветра, связанного с фронтальной поверхностью, могут также указывать разность векторов ветра поперек фронта и скорость движения фронта. В этом контексте предложена разность векторов ветра величиной 10 м/с на 90 км (20 уз на 50 м. миль), и в помощь прогнозику обычно предоставляются простые номограммы для вычисления разности векторов непосредственно по двум значениям ветра с использованием уравнения, рассматривавшегося на рис 2-2 с), т. е. $a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos A}$. Аналогичным образом существенный сдвиг ветра обычно присутствует во фронтах, движущихся со скоростью 60 км/ч (30 уз) или более. Необходимо рассмотреть два аспекта применительно к критериям, основывающимся на скорости движения фронтов. Хотя фронтам, движущимся со скоростью 60 км/ч (30 уз) или более (обычно это холодные фронты с крутым наклоном), действительно свойствен заметный фронтальный сдвиг ветра, уже сам факт такого быстрого их движения означает, что любое проявление сдвига ветра на высоте ниже 500 м (1600 фут) будет, по-видимому, иметь лишь кратковременное воздействие на аэродром, который он пересекает. А это с определенной долей парадоксальности означает, что те фронты, включая теплые фронты, хотя в них и проявляется менее значительный (неконвективный) фронтальный сдвиг ветра, которые перемещаются очень медленно, становясь даже квазистационарными, могут оказывать более заметное воздействие в целом на полеты воздушных судов (например, приводя к частым уходам на второй круг), чем интенсивные, но быстро движущиеся холодные фронты.

5.2.20 Количественный расчет сдвига ветра поперек фронтальной поверхности может быть сделан путем анализа полей ветра и его профилей вблизи фронта. В нетипичном случае, когда станция запуска радиозондов и шаров-пилотов располагается в надлежащем месте относительно фронтальной поверхности, сдвиг ветра можно вычислить прямым путем, как указывалось в главе 2, с учетом неизбежных недостатков этого метода. Так или иначе, поля ветра вблизи фронта должны анализироваться. В этом контексте выяснилось, что геострофический ветер, измеренный в теплом секторе, позволяет оценить скорость и направление ветра непосредственно над поверхностью как холодного, так и теплого фронта ниже 500 м (1600 фут) (это обеспечивает оценку ветра на высотах для расчета сдвига в отношении холодного и теплого фронтов). Перед теплым фронтом, в прохладной воздушной массе средние приземные ветры в достаточной мере показательны в отношении ветра ниже фронтальной поверхности (это обеспечивает оценку ветра на малых высотах при расчете сдвига для теплого фронта). Что касается холодного фронта, то, как было найдено, геострофический ветер в холодном воздухе позади фронта более показателен в отношении ветра ниже фронтальной поверхности, чем приземные ветры (это обеспечивает оценку ветра на малых высотах при расчете сдвига для холодного фронта). Все вышеуказанные векторы ветра на высотах и ветра на малых высотах, используемые при расчете фронтального сдвига, следует разложить на составляющие, параллельные и перпендикулярные направлению наиболее вероятной для использования ВПП, в качестве альтернативы таким же образом следует разложить конечную вычисленную разность векторов⁵⁸ (см. п. 5.1.10). Таким образом, величина сдвига находится в прямом соотношении с изменениями встречного/попутного ветра (воздушной скорости) и бокового ветра (угла сноса), которые воздействуют на воздушное судно, использующее данную ВПП.

5.2.21 После вышеупомянутых действий может быть подготовлен прогноз, содержащий сообщение об ожидаемом сдвиге ветра на аэродроме на высотах от поверхности земли до 500 м (1600 фут), с указанием - по мере возможности, в пределах ожидаемого срока действия прогноза – ожидаемой разности векторов по фронту, выраженной в узлах, применительно к встречному/попутному и боковому ветру для конкретной ВПП.⁶³

Прогноз сдвига ветра, связанного с фронтами морского бриза

5.2.22 Как упоминалось в п. 3.4.2, хотя в морском бризе происходит вытеснение теплого воздуха холодным, наклон фронтальной поверхности и температурные градиенты более схожи с аналогичными признаками пологого теплого, а не холодного фронта (фактически теплого фронта, движущегося в обратную сторону). Ввиду этого методы и критерии анализа сдвига ветра, связанного с теплыми фронтами, приводившиеся в п. 5.2.19, могут быть использованы при анализе фронтов морского бриза. Существует, однако, ряд дополнительных соображений, главным из которых является то, что морской бриз не адвектируется устойчиво по синоптической карте, как это происходит с фронтами воздушной массы, и его формирование должно прогнозироваться каждые 24 ч. Формирование морского бриза не происходит автоматически и зависит в основном от общей синоптической ситуации и от малозаметного влияния элементов местного характера (например, топографии). Таким образом, приходится иметь дело с дополнительными переменными величинами, в частности такими, как: сформируется ли фронт вообще, и если да, то в какое время, на какое расстояние он проникнет на сушу и какой плотности будет слой морского (или озерного) воздуха. Если морской бриз сформировался, могут применяться уже описанные методы анализа теплого фронта. Наличие подробной информации о вертикальном профиле ветра, температуре и влажности по всему фронту морского бриза является критически важным фактором для прогнозирования сопутствующего сдвига ветра. Это, в свою очередь, зависит от наличия соответствующих репрезентативных данных, полученных с помощью радиозонда/шара-пилота/СОДАР. Кроме того, незаменимыми качествами для точного прогнозирования влияния морского бриза являются знание местных условий и опыт прогнозиста.

5.2.23 Особенно хороший пример фактического фронта морского бриза, наблюдавшегося неподалеку от Бостона, приведен на рис. 5-11.^{5,14} В данном случае при оценке сдвига ветра через фронтальную поверхность приземный ветер в Провиденсе (PVD) взят в качестве типичного для теплого воздуха над фронтальной поверхностью, хотя было бы лучше использовать градиентный ветер, который, вероятно, был бы несколько сильнее, чем 15 м/с (30 уз) у земной поверхности. Приземный ветер в Бостоне (BOS) взят в качестве типичного для ветра под фронтальной поверхностью. Величина разности векторов между ними (сдвиг ветра) составляла по меньшей мере 20 м/с (40 уз). На рис. 5-11. рядом с кружком каждой станции также проставлены значения температуры у земной поверхности (°F). Помимо сдвига скорости ветра над земной поверхностью, большое значение может иметь на аэродроме также внезапное изменение направления приземного ветра при прохождении фронта. При всей очевидной значимости этого явления для прибрежных аэродромов, следует учитывать, что сильные фронты морского бриза при благоприятных условиях способны проникать почти на 50 км в глубь суши.

Прогнозирование сдвига ветра, возникающего при обтекании препятствий воздушным потоком

5.2.24 Хотя изменчивая интенсивность сдвига ветра, вызываемого характером местности, хорошо известна, и поэтому он обычно сопровождается турбулентностью при ясном небе (ТЯН), с точки зрения прогнозирования его лучше всего рассматривать как устойчивый, поскольку при возникновении соответствующих метеорологических условий сдвиг ветра этого типа имеет тенденцию формироваться в определенных по отношению к препятствиям местах и сохраняться пока там преобладают указанные особые метеорологические условия (см. раздел 3.2). Прогнозирование такого сдвига ветра требует, помимо общих синоптических прогнозов ветра в данном районе, детального знания местных топографических условий и их влияния на господствующие ветры. Подверженность аэродрома воздействию сдвига ветра, возникающего из-за характера местности или строений, лучше всего определяется при помощи следующей методики:

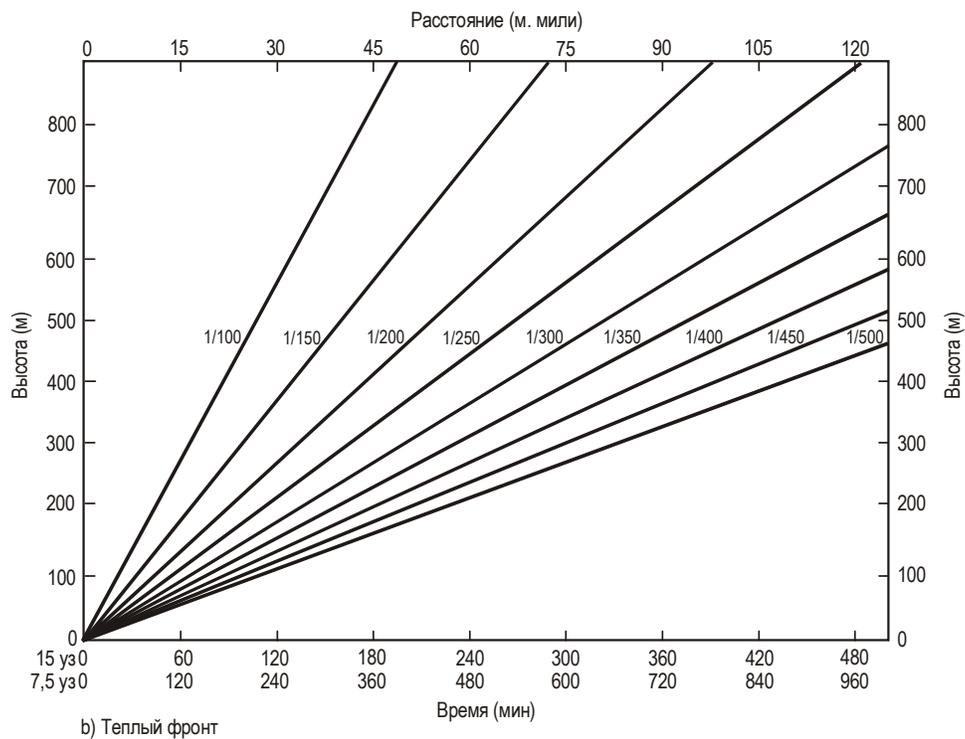
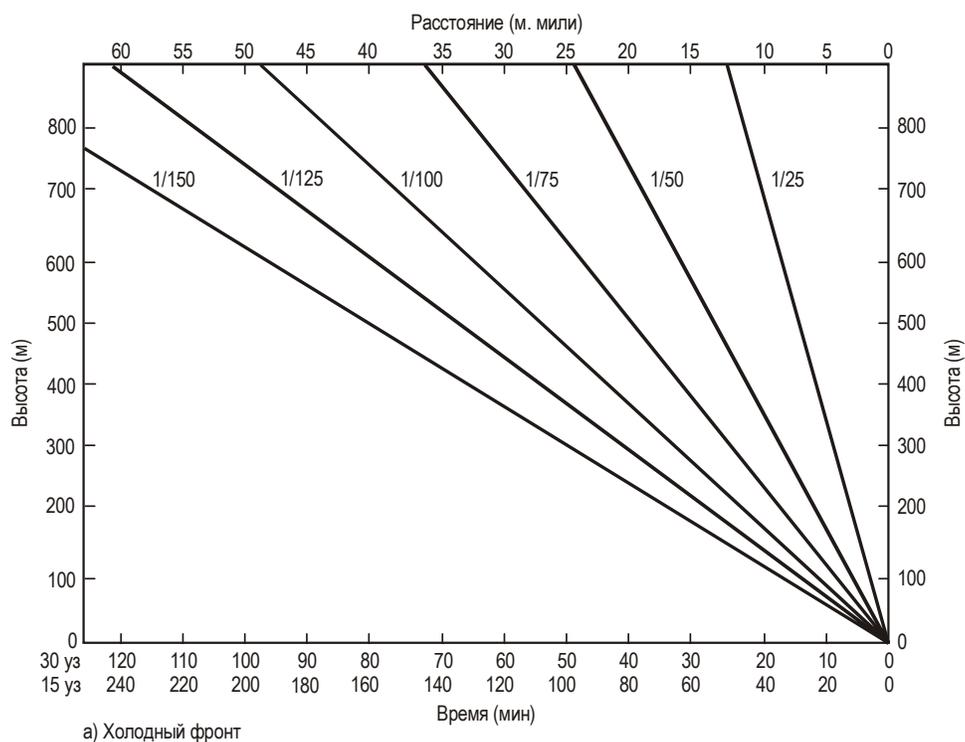


Рис. 5-10. Высота теплового и холодного фронтов в соотношении с расстоянием/временем до аэропорта при различных наклонах (Баднер, 1979 г., адаптировано ИКАО)

- a) осмотр аэродрома и его окрестностей и анализ накопленных климатологических данных опытным специалистом по авиационной метеорологии;
- b) постепенное накопление опыта в области проведения анализов воздушного потока в данном районе в различных условиях местными прогнозистами (такой опыт следует обобщить при первой же возможности в документе, содержащем материалы местных технических исследований);
- c) проведение полевых опытов с использованием стратегически расположенных анемометров (анализ результатов может проводиться на любом уровне сложности),⁶⁴
- d) направление запросов пилотам, выполняющим полеты в зоне аэродрома, относительно донесений о ветре и сдвиге ветра/турбулентности при ясном небе на малых высотах и корреляция этих донесений по времени с окружающими условиями;
- e) получение консультаций от диспетчеров АДП, которым приходится внимательно следить за капризами приземного ветра как по показаниям анемометров, так и по ветровым конусам и т. п.;
- f) в особых случаях, когда сложившиеся обстоятельства оправдывают производимые затраты^f (например, в районе Гибралтара), могут проводиться гидродинамические испытания на уменьшенных моделях или моделирование на ЭВМ.

5.2.25 Существует много способов проведения анализа климатологических данных и результатов полевых экспериментов, начиная от обычного частотного анализа ветра до сложного спектрального анализа. Одним из способов достаточно быстрого получения эффективных результатов является вычисление средних факторов порыва для каждого установленного анемометра (стационарного или установленного на время полевых экспериментов). Самым простым способом является ежемесячный или ежегодный расчет среднего или среднеквадратичного отклонения соотношения между скоростью порыва и средней скоростью. Пример такого анализа (проводимого ежегодно) показан на рис. 5-12 применительно к международному аэропорту Сейшельских островов.⁶⁵ Из этого примера явствует, что юго-западные ветры очень порывисты. Это хорошо согласуется с тем фактом, что в непосредственной близости к западу от места установки анемометра на относительно небольшом расстоянии расположена возвышенная местность.

5.2.26 Если известны характер, степень преобладания и, по мере возможности, средняя интенсивность сдвига ветра, вызываемого характером местности или строениями в окрестностях аэродрома, и определены конкретные метеорологические условия, необходимые и достаточные для его образования, в помощь прогнозистам может быть подготовлен ряд эмпирических правил, приспособленных к особым условиям каждого аэродрома. Краткое описание характеристик такого устойчивого сдвига ветра на конкретных аэродромах следует также включать в государственный сборник аэронавигационной информации (AIP).

f. Обычно такие эксперименты являются дорогостоящими, но не всегда; см., например, справочный материал 22 в отношении анализа воздушного потока над Кипром.

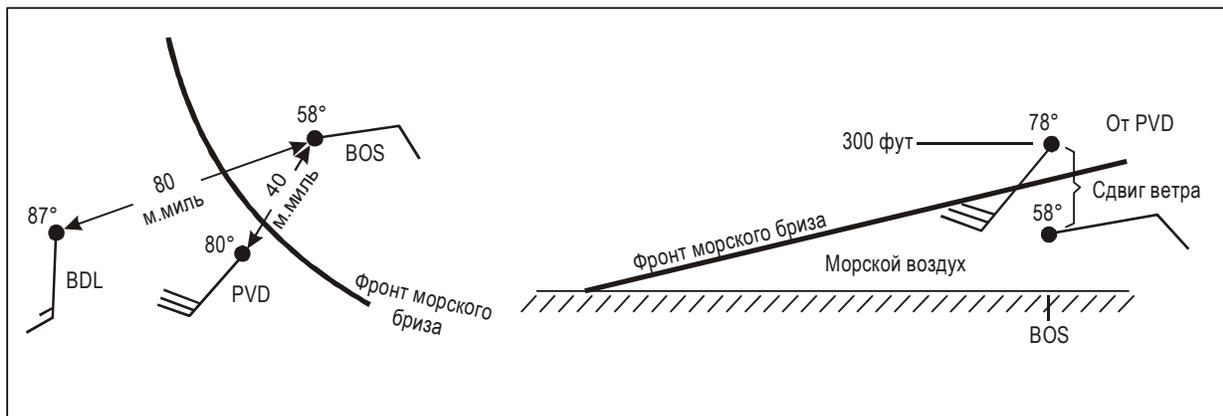


Рис. 5-11. Сдвиг ветра, связанный с морским бризом (Баднер, 1979 г.)

уз \ °	350°	020°	050°	080°	110°	140°	170°	200°	230°	260°	290°	320°	пере- мен- ный
	010°	040°	070°	100°	130°	160°	190°	220°	250°	280°	310°	340°	
1													
3													
4													
6	1,72	1,70	1,74	1,71	1,95	1,92	2,00	2,17	2,08	1,83	1,95	1,86	2,15
7													
10	1,51	1,61	1,73	1,60	1,63	1,82	2,01	2,08	2,04	1,83	1,78	1,59	2,01
11													
16	1,46	1,70	1,88	1,53	1,59	1,74	1,96	1,82	1,77	1,82	1,68	1,49	0
17													
21	1,63	1,43	0	1,76	1,73	1,69	1,76	0	1,71	1,78	1,62	1,52	0
22													
27	0	0	0	0	0	1,64	0	0	1,66	1,76	0	0	0
28													
33	0	0	0	0	0	0	0	0	1,61	1,52	0	0	0
34													
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41													
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 5-12. Средний фактор порывов для различных классов ветра по скорости (в уз) и направлению применительно к международному аэропорту Сейшельских островов (из издания "Климат Сейшельских островов", 1979 г.)

Прогнозирование сдвига ветра, связанного с горными волнами

5.2.27 Особым случаем является ситуация, когда воздушный поток обтекает препятствия сбоку или по крайней мере сверху (подробная информация приводится в пп. 3.2.8–3.2.10). В целом такая ситуация может служить причиной для беспокойства только на аэродромах, расположенных на подветренной стороне у высоких/протяженных горных цепей, перпендикулярных направлению господствующих ветров (например, в районе Скалистых гор в Канаде и Соединенных Штатах Америки). Горные волны обычно образуются на высотах свыше 500 м (1600 фут) в виде группы стационарных волн с уменьшающейся амплитудой, стекающих по подветренным склонам от линии гребня или от отдельных горных пиков. Существуют, однако, обстоятельства, когда амплитуда группы волн достаточно велика, чтобы оказывать влияние на воздушный поток и ниже 500 м (1600 фут). В таких обстоятельствах ветер, дующий вниз по склонам подветренной стороны горного хребта, образует часть первой и поэтому имеющей наибольшую амплитуду волны, которая усиливает обычный феновый эффект (см. п. 3.2.10). Это может приводить к внезапному возникновению очень сильных, порывистых и ощутимо теплых сухих приземных ветров. Скорость таких порывов в экстремальных случаях превышает 50 м/с (100 уз). Наличие заметной низкой температурной инверсии на уровне земли может воспрепятствовать фактическому достижению этими ветрами поверхности земли, создавая тем самым зону сдвига на вершине слоя инверсии. В экстремальных случаях амплитуда волны может быть достаточной для образования отдельных весьма турбулентных вихревых течений с сопутствующим вихревым облаком или без него под первым и возможно под следующими гребнями волн. Эти вихревые течения могут простираться до уровня земли и обращать вспять обычный приземный ветер (см. рис. 3-4 и 5-13). Интенсивные вихревые течения могут заключать в себе нисходящие/восходящие потоки, обладающие скоростью до 25 м/с (5000 фут/мин).⁶⁶

5.2.28 Обычные ветры фенового типа, дующие вниз по склону, как и горные волны, поддаются прогнозированию, хотя зачастую очень трудно прогнозировать скорость фактического ветра и сдвиг ветра в количественном выражении.^{67,68} Наличие чечевицеобразных и вихревых облаков, несомненно, служит прямым показателем присутствия горных волн. Что же касается прогнозирования, то

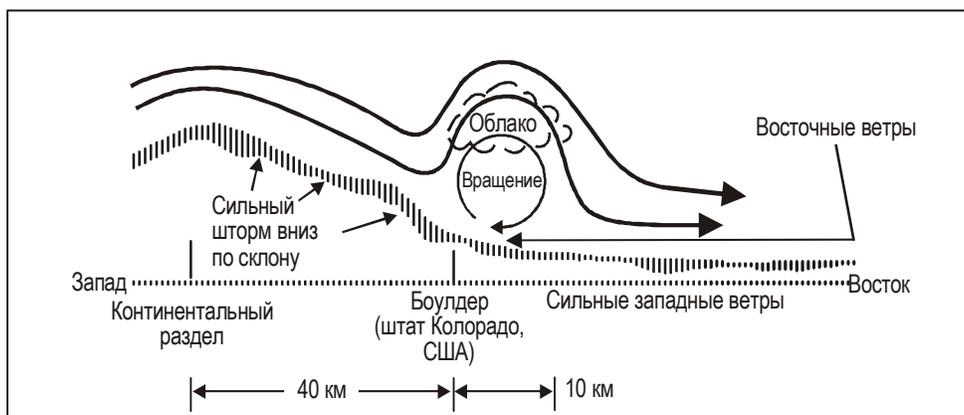


Рис. 5-13. Схематический вертикальный разрез, проходящий через Боулдер (штат Колорадо, Соединенные Штаты Америки) на 24 января 1982 г., предположительно репрезентативный в отношении поля среднего потока, по состоянию на 09:00–18:00 по среднему солнечному времени. Хотя в зоне вокруг Боулдера преобладали ветры общего направления, на высоте 2–3 км над уровнем земли в смолисто-кучевой облачности, систематически образующейся к западу от Боулдера, наблюдались сильные западные ветры (Зипсер и Бедард, 1982 г., адаптировано ИКАО)

для каждого района должен быть подготовлен соответствующий набор эмпирических правил, которые должны, в частности, включать критерии, в основу которых положены:

- a) критическая скорость ветра на гребне гор (вероятно, свыше 7,5 м/с (15 уз)) с усилением ветра по высоте;
- b) устойчивый наветренный слой или инверсия ниже уровня 600 гПа, предпочтительно между двумя менее устойчивыми слоями;
- c) слабые ветры в устойчивом слое;
- d) удаление влаги на наветренной стороне горного хребта в виде осадков;
- e) разность давления на уровне моря по обе стороны горного хребта.

Простая, но эффективная номограмма прогнозирования процесса образования и интенсивности горных волн основана на двух из этих факторов – разность давления на уровне моря на противоположных сторонах горного хребта в сравнении со скоростью ветра, направленного перпендикулярно горному хребту.^{69,70} При расположении горных хребтов в направлении север – юг образование заметных горных волн может вызываться проходящим холодным фронтом.

5.2.29 Прогнозы сдвига ветра, связанного с горными волнами, в большинстве случаев передаются в виде сообщений SIGMET и/или AIRMET. Требования к выпуску таких сообщений приводятся в главе 7 Приложения 3. В этом контексте в п. 4.2.8 добавления 6 "Технические требования, касающиеся информации SIGMET и AIRMET, предупреждений по аэродрому и предупреждений о сдвиге ветра" сила горных волн определяется также следующим образом:

"Горную волну (MTW) следует считать:

- a) сильной, если сопровождается нисходящим потоком со скоростью 3,0 м/с (600 фут/мин) или более и/или наблюдается или прогнозируется сильная турбулентность, и
- b) умеренной, если сопровождается нисходящим потоком со скоростью 1,75–3,0 м/с (350–600 фут/мин) и/или наблюдается или прогнозируется умеренная турбулентность".

Прогнозирование сдвига ветра, связанного с кatabатическими ветрами

5.2.30 Этот вид воздушного потока является предметом особого беспокойства для аэродромов, расположенных в долинах. Метеорологическая обстановка, способствующая его образованию, включает тихие, ясные ночи в условиях антициклона (см. п.3.2.7). Возникновение и сила местного кatabатического ветра обычно могут прогнозироваться только на основе эмпирических правил, выведенных для каждого конкретного района. Помимо очевидной важности для прогнозирования изменений приземного ветра на аэродромах кatabатический ветер обычно сам по себе не создает проблем на большинстве аэродромов за исключением чрезвычайных случаев. В чрезвычайных же случаях, как, например, в местах, где внутренние плато расположены рядом с прибрежными районами, и особенно зимой в условиях сильного антициклона, воздух над побережьем заметно теплее, чем очень холодный воздух над плато. Если горизонтальный барический градиент расположен так, что вынуждает холодный воздух стекать вниз по склонам плато, очень сильные, порывистые и отличающиеся нарастающей скоростью холодные ветры дуют через прибрежную равнину и далее в море, достигая временами скорости свыше 50 м/с (100 уз) (например, "бора" в Адриатике).

5.2.31 Значительный местный сдвиг ветра (над уровнем земли), вызываемый обычными нисходящими по склону кататическими ветрами, может иметь место только в том случае, если приземная инверсия, образующаяся ночью, достаточно сильна, чтобы воспрепятствовать смешиванию самых нижних слоев атмосферы.⁷¹ В этих условиях на дне долины образуется как бы "стоячая лужа" холодного воздуха, в конечном итоге мешающая очередному нисходящему со склонов потоку достичь поверхности земли, заставляя его скользить поверх инверсии. Это приводит к такой ситуации, когда приземный ветер на дне долины снижается преимущественно до уровня штиля или слабого ветра, образуя зону сдвига на вершине инверсии (обычно на высоте между 75 м (250 фут) и 150 м (500 фут) над уровнем земли.⁷² После восхода солнца инверсия поднимается и ослабевает, при этом поднимается и зона сдвига. Ветер над инверсией с восходом солнца часто усиливается, в результате чего с подъемом зоны сдвига ветра последний также может усиливаться сразу после восхода солнца. Расчетное значение сдвига ветра может быть получено из разности векторов ветра на гребне и приземного ветра на дне долины. Величина, превышающая 2,5 м/с (5 уз)/30 м, по всей вероятности является важным фактором для полетов воздушных судов.

Прогнозирование сдвига ветра, связанного со струйным течением на малых высотах

5.2.32 При определенных условиях на малых высотах образуется сильный супергеострофический ветер, особенно над широкими континентальными равнинами, окруженными барьерами гор. Для описания этого явления используется термин "струйное течение на малых высотах", поскольку оно образуется в виде длинной узкой полосы сильных ветров с линиями потока и изотаксами, которые напоминают струйные течения на больших высотах в атмосфере. Как указывалось в п. 3.1.5, ось струйного течения на малых высотах находится обычно ниже 500 м (1600 фут), хотя имеет тенденцию к устойчивому подъему после начального формирования. Формирование струйного течения зависит от ряда факторов, наиболее важным из которых является быстрое охлаждение у поверхности в ночное время. При таком стечении обстоятельств его формирование происходит после захода и достигает максимума перед восходом солнца⁷³ в те часы по местному времени, которые в зависимости от долготы аэродрома могут не совпадать со временем поступления подробных данных о ветре и температуре на малых высотах от радиозондов, запускаемых около 00:00 и 12:00 по всемирному координированному времени (UTC). Использование доплеровской системы СОДАР особенно подходит для слежения за развитием инверсии на малых высотах и ежечасного измерения профиля ветра на малых высотах непосредственно над аэродромом (см. п. 5.1.18).

5.2.33 Для использования на аэродромах, подверженных воздействию струйных течений на малых высотах, разработан ряд эмпирических правил прогнозирования. При наличии информации, полученной с помощью радиозонда, запущенного в этом месте приблизительно во время образования струйного течения на малой высоте, могут быть составлены весьма детальные правила. В иных обстоятельствах могут применяться следующие общие правила, предложенные Баднером⁵⁸ для использования в Соединенных Штатах Америки:

- a) Наблюдаемая ситуация должна включать небольшой облачный покров, при котором дневной нагрев создает в послеполуденные часы неустойчивый вертикальный градиент вблизи земли. Желательна инверсия на уровне около 850 гПа, покрывающая неустойчивость на малой высоте. Эти условия могут определяться по данным предыдущего запуска радиозонда и по максимальной температуре в послеполуденные часы.
- b) Приземный ветер должен дуть из южного сектора со скоростью, близкой к геострофической ≥ 10 м/с (≥ 20 уз) как определено по изобарической разнесенности на послеполуденных картах поверхности. Горизонтальный барический градиент не

должен ослабляться ниже разнесенности, достаточной для создания максимальной скорости ветра 10 м/с (20 уз) в течение ночи.

- c) Скорость ветра должна понижаться по высоте над инверсией малых высот в самом нижнем слое толщиной 900 м (3000 фут) ближе к заходу солнца. Это может быть видно из самых свежих имеющихся данных о ветре на высотах.
- d) Может быть определена приблизительная разность векторов направления и скорости наблюдаемого приземного ветра ближе к заходу солнца и геострофически измеренного направления и полуторной скорости, измеренной по горизонтальному барическому градиенту на последней имеющейся карте анализа поверхности. Если разность векторов превышает 15 м/с (30 уз), может произойти значительный сдвиг ветра. Далее принимается, что для создания среднего ослабления сдвига ветра по вертикали $2 \text{ м/с (4 уз)}/30 \text{ м}$, $\frac{30 \text{ уз}}{350 \text{ м}} = 30 \times \frac{30}{350} = 30 \times 0,086 = 26 \text{ уз}/30 \text{ м}$ необходима минимальная разность векторов 15 м/с (30 уз) в слое от высоты наблюдения приземного ветра до предполагаемой высоты струйного течения, составляющей 360 м (1200 фут). Это среднее значение сдвига ветра в слое толщиной 350 м предполагает, что сдвиг будет по крайней мере в два раза большим в самом нижнем слое толщиной 90 м (300 фут).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕУСТОЙЧИВОГО СДВИГА ВЕТРА

Прогнозирование сдвига ветра, связанного с конвективной облачностью

Общие положения

5.2.34 Прогноз сдвига ветра на малых высотах, связанного с конвективной облачностью и особенно со сформировавшимися грозами, критически важен для авиации, но подготовить его чрезвычайно трудно. Более того, прогнозирование конвективной облачности, особенно гроз, в представляющей интерес области, является необходимым, но отнюдь не достаточным условием в той мере, в какой это касается сдвига ветра. Разнообразные типы сдвига ветра на малых высотах, представляющие предмет беспокойства для авиации, которые могут быть связаны с грозами, включая фронты порывов, нисходящие порывы, микропорывы и торнадо, подробно описываются в разделе 3.5. Однако не все грозы порождают такой сдвиг ветра, поскольку иногда он происходит и от негрозового конвективного облака.

5.2.35 Если согласно прогнозу конвективная облачность, особенно грозы, могут затрагивать данный аэродром, становится очевидной возможность появления на малых высотах сдвига ветра, связанного с кучевой или кучево-дождевой облачностью, и это должно учитываться пилотами. Если предсказываются сильные грозы, организованные линии гроз или обширные области грозовой активности, существенно возрастает вероятность какого-либо вида или всех видов критического для авиации сдвига ветра на малых высотах, о котором говорилось выше. Однако такие более экстремальные проявления грозовых явлений как микропорывы и торнадо, которые, теоретически могут сопровождать любую сильную грозу, имеют тенденцию превалировать в тех определенных районах мира, которые представляются особенно благоприятными для их формирования. Прогнозирование развития гроз всегда было одной из важнейших задач метеорологов, причем методика их прогнозирования хорошо известна и, в достаточной мере успешна, особенно в неоптическом масштабе. Прогнозированию очень сильных гроз в местном масштабе в последние

несколько десятилетий уделяется повышенное внимание, главным образом из-за той опасности, угрожающей жизни людей и чреватой огромным материальным ущербом, которую могут нести с собой связанные с грозами сильные ветры, ливневые дожди, град и торнадо. Разрабатываемая методика быстро сглаживает различия между наблюдениями и прогнозами, поскольку они в значительной степени основываются на детальном знании сиюминутного состояния атмосферы в конкретном месте. Составленный в результате "прогноз" может в крайнем случае послужить не более, чем переданным лишь за несколько критически важных минут до начала какого-либо явления "предупреждением". Эта методика стала известна как "прогноз на настоящее время" – термин, который Браунинг⁷⁴ объясняет следующим образом:

"Термин "прогноз на настоящее время" символизирует подход к местному прогнозированию путем интенсивных наблюдений со своевременным использованием текущих данных, при котором дистанционное зондирование играет главенствующую роль... Само выражение "прогноз на настоящее время" вызывает в воображении живую картину такого подхода к предсказанию, который более чем обычно зависит от описания нынешнего состояния [атмосферы] ... Явления погоды, являющиеся предметом "прогноза на настоящее время", связаны с мезомасштабными системами. Мезомасштаб лежит в пределах между синоптическим масштабом и масштабом системы кучевой облачности – отсюда и его название. Он может иметь любое значение в пределах от нескольких километров до нескольких сот километров, в масштабе от часа до суток. Фронты, грозовые системы и разнообразные местные эффекты, связанные с характером местности, – все это происходит в мезомасштабных рамках".

Всемирная метеорологическая организация (ВМО)⁷⁵ определяет "прогноз на настоящее время" как составляющий подгруппу "краткосрочного прогнозирования" и являющийся "описанием текущей погоды и прогнозом за 0–2 ч". Это по существу является и определением "прогноза для посадки типа "тренд", как это предусмотрено в главе 6 Приложения 3, что делает "прогнозы на настоящее время" особенно удобными для применения в авиации.

5.2.36 В отношении сильных гроз и/или гроз, формирующихся по линиям или по районам (и то, и другое может включать также отдельные сильные грозы), эффективные методы местного прогнозирования развития грозы (изменения интенсивности или масштаба) и ее перемещения, будь то прогноз на настоящее время или иной прогноз, обычно основываются на информации, получаемой из любого или из всех нижеследующих источников:

- a) прямое визуальное наблюдение;
- b) метеорадиолокатор (от одиночной установки 3-сантиметрового радиолокатора до организованных сетей, включающих 10-сантиметровые радиолокаторы);
- c) синоптические наблюдения и донесения с борта воздушных судов;
- d) результаты наблюдения, непрерывно получаемые в реальном масштабе времени от мезомасштабных систем (включая стратегически расположенные автоматические станции);
- e) радиозонды/шары-пилоты с повышенной частотной плотностью запусков;
- f) данные метеоспутников (включая снимки, отображающие распределение облаков и водяных паров, а также вертикальных профилей температуры и влажности, которые производятся с полчасовым интервалом);

- g) доплеровская РЛС (включая групповые установки);
- h) система СОДАР;
- i) системы обнаружения и определения местонахождения молний в реальном масштабе времени;
- j) автоматическая обработка и отображение данных, полученных из вышеперечисленных источников в реальном масштабе времени.⁷⁶

Прогнозирование порывов, фронтов порывов, нисходящих порывов/микрпорывов и торнадо

5.2.37 Все без исключения грозы могут вызвать порывы приземного ветра. Имеется ряд эмпирических правил прогнозирования вероятной максимальной скорости порывистого приземного ветра, особенно в отношении гроз, связанных с воздушной массой, большинство которых основывается на оценке разности между температурой на поверхности до и после зарождения порывистого нисходящего воздушного потока при грозе. Метод, предложенный Фобушем и Миллером, использует репрезентативные данные самых последних измерений, наносимые на стандартную термодинамическую диаграмму (например, тефиграмму). Значения температуры по влажному термометру рассчитываются и наносятся вплоть до точки замерзания. Точка, где кривая температур по влажному термометру достигает 0° С (иногда называемая "уровнем замерзания по влажному термометру"), понижается до поверхности вдоль линий насыщенной адиабаты. Затем температура этой последней точки вычитается из значения наблюдаемой на поверхности температуры или прогнозируемой температуры до начала грозы. Разность максимальному порыву согласно графику, представленному на рис. 5-14.^{9,77} Прогнозировать направление порывов труднее, однако в целом хорошей индикацией служит среднее направление ветра в слое между 700 и 600 гПа. Наблюдение за перемещением грозы на экране РЛС часто помогает рассчитать вероятное направление порывов.⁷⁸ Наличие прогноза максимального вероятного порыва еще не служит гарантией того, что такой порыв затронет какой-либо конкретный район на пути движения грозы, например, зону аэродрома.

5.2.38 Описанные выше эмпирические правила прогнозирования порывов при грозах обычно используются применительно к непосредственному району вокруг грозовой воздушной массы. Сильные грозы, а также фронтальные грозы и грозы линий шквалов обычно порождают более организованные и распространяющиеся системы порывов, известные под названием "фронтов порывов", которые могут привести к гораздо более высоким скоростям порывов, способных двигаться впереди породившей их грозы или линии шквалов на удалении до 35 км (19,5 м. миль) (см. п.3.5.2). Порывы при грозах зарождаются в холодных нисходящих течениях, проникающих в основание облака и сопровождающихся сильным дождем или без него. Фронт порывов формируется из особенно сильных нисходящих потоков, достигающих земли, которые, расходясь у земли и достигая разрушительной силы, именуются "нисходящими порывами" по определению Фудзиты (см. 3.5.3). Прогнозировать вероятную максимальную скорость порыва во фронте порывов трудно, но если есть возможность установить скорость и направление фронта порывов при его прохождении через станции наблюдения или при помощи РЛС и т. п., то максимальная скорость ветра под прямым углом к фронту порывов вблизи земли будет примерно в 1,5 раза превышать скорость фронта порывов. Трудно также определить, будут ли фактически фронты порывов иметь место при грозе. Предложено использовать в качестве критерия уровень отражательной способности цели в центре отображения грозы на экране РЛС, превышающий 40 dBZ (что эквивалентно интенсивности дождя свыше одного дюйма в час).⁷⁹ Может также применяться методика прогнозирования развития нисходящих порывов, о которой говорится в п. 5.2.39, поскольку фронты порывов образуются из нисходящих порывов.

g. Иногда это называется "индексом дельта – Т".

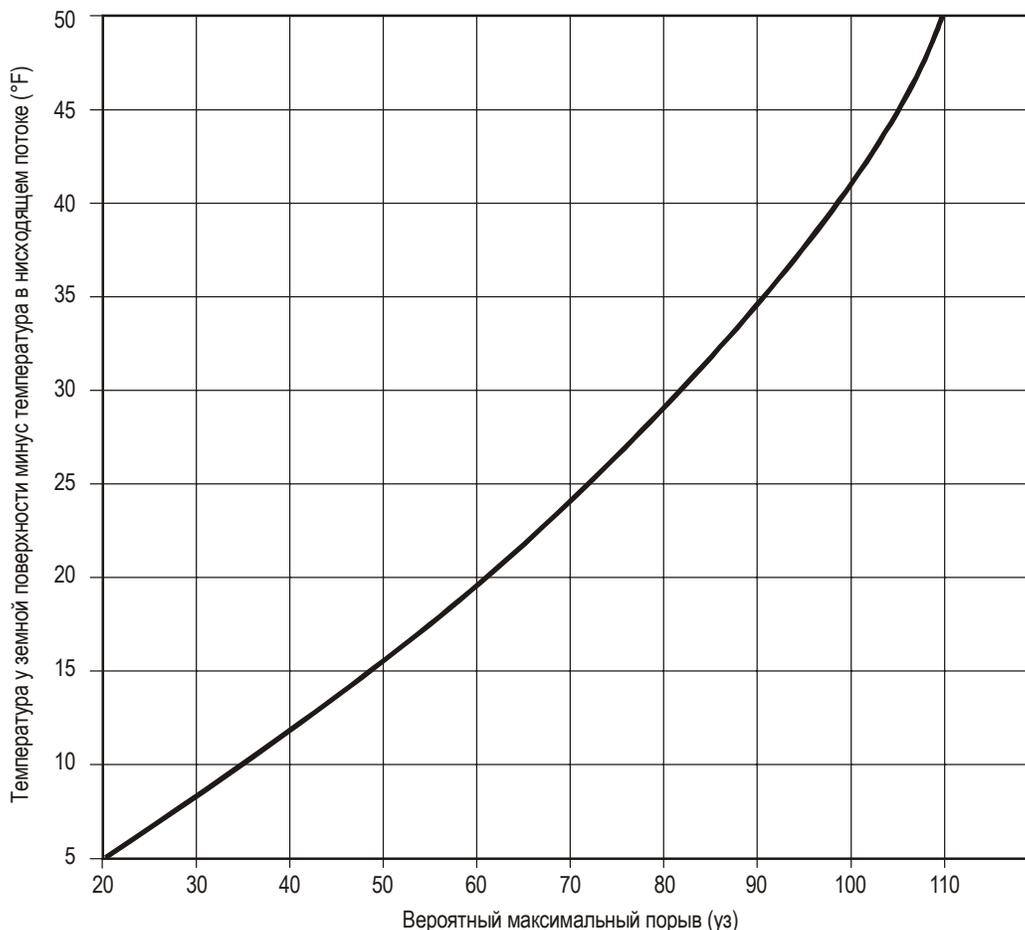


Рис. 5-14. Эмпирические прогнозы вероятных максимальных порывов (Джорж, 1960 г.)

Следует всегда ожидать фронты порывов, движущиеся перед линией шквалов и исходящие из организованных зон грозовой активности. Как упоминается в пп. 3.5.10 и 5.1.5, временами фронт порывов виден на экране обычного dBZ-метеорадиолокатора, особенно на экранах 10-сантиметровых РЛС, настроенных на прием более слабых, чем обычно, сигналов (до ≤ 10 dBZ). Слежение за этими отраженными радиолокационными сигналами позволяет делать очень точный прогнозы; к сожалению, не все фронты порывов дают такие распознаваемые отраженные сигналы. Наблюдения за вихревыми облаками фронта порывов с помощью метеорологических спутников (см. п. 5.1.6 и рис. 5-13), хотя такие возможности предоставляются редко, также могут обеспечить основу для точного прогнозирования. Использование комплекса датчиков измерения ветра и/или давления по периметру аэродрома для обнаружения фронтов порывов, например в системе LLWAS, установленной на многих аэродромах США, подробно описывается в пп. 5.1.7–5.1.14. Первоначально эта система предназначалась для краткосрочного предупреждения о фронтах порывов и микропорывах, пересекающих периметр аэродрома, и она хорошо служит этой цели.

5.2.39 Общепринятая методика прогнозирования на настоящее время в отношении гроз, вероятным следствием которых могут быть нисходящие порывы (и следовательно, фронты порывов), микропорывы и торнадо, в большой степени зависит от интерпретации характеристик отраженных сигналов, получаемых обычными, т. е. не доплеровскими РЛС, и снимков вершин облаков,

получаемых с помощью геостационарных метеоспутников в инфракрасном диапазоне. На обычных РЛС характеристики отраженных сигналов, связанных с сильными грозами, анализируются с 50-х годов, и коллекция распознаваемых видов на настоящий момент включает "высокий отраженный сигнал", "крюкообразный отраженный сигнал", "дугообразный отраженный сигнал", "отраженный сигнал в виде запятой" и "копьевидный отраженный сигнал". Крюкообразные и дугообразные сигналы, а также возможные зоны нисходящих порывов показаны схематически⁷⁹ на рис. 5-15 а), а типичная эволюция отраженных радиолокационных сигналов на различных этапах и расположение нисходящих порывов показаны на рис. 5-15 б). Понятие копьевидного отраженного сигнала введено Фудзитой и Байерсом в анализе (1976) метеорологических аспектов авиационного происшествия с самолетом авиакомпании "Истерн эрлайнз" в международном аэропорту имени Джона Кеннеди в Нью-Йорке в июне 1975 г. Копьевидный отраженный сигнал в плане и по вертикали представлен схематически на рис. 5-16;⁸⁰ следует также провести сравнение с рис. 3-11. Типичные вершины облаков в плане и по вертикали, наблюдаемые на инфракрасных снимках гроз, порождающих нисходящие порывы, схематически показаны на рис. 5-17.⁷⁹ Распознавание таких характеристик отраженного радиолокационного сигнала не всегда является простой задачей, а отсутствие такого сигнала не исключает возможного развития очень сильных гроз. Подробная информация, касающаяся использования такой методики для интерпретации и прогноза очень сильных гроз, приводится в справочных материалах, указанных под номерами 49, 70 и 74 в конце данной главы.

5.2.40 Как указывалось в п. 5.1.37, система ITWS вырабатывает целый ряд информационных продуктов, большинство из которых классифицируются как прогноз на настоящее время. Работа Браунинга, изданная в 1983 г.⁷⁴ и посвященная текущему состоянию и будущему развитию такого вида прогнозов, в значительной степени нашла свое воплощение в ITWS и других комплексных метеосистемах наблюдения/прогнозирования/предупреждения.

5.3 ПЕРЕДАЧА СООБЩЕНИЙ О СДВИГЕ ВЕТРА

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5.3.1 В первых двух пунктах перечня эксплуатационных требований, содержащихся в добавлении 1, говорится о необходимости обеспечения пилотов информацией о сдвиге ветра и турбулентности на малых высотах. На первый взгляд, способы предоставления пилотам имеющейся информации о сдвиге ветра не должны особенно отличаться от способов предоставления информации о любом представляющем опасность метеорологическом явлении на малых высотах. На практике, однако, приходится сталкиваться с рядом необычных трудностей, которые должны быть рассмотрены для того, чтобы раскрыть перед всем эксплуатационным персоналом существование этих трудностей.

5.3.2 В настоящее время информацию о сдвиге ветра на малых высотах в районе аэродрома можно получить из донесений пилотов, передаваемых при посадке и взлете, результатов непосредственных наблюдений с земли, прогнозов, подготовленных на основе общей метеорологической информации, или показаний приборов или систем приборного оборудования, специально установленных для этой цели на аэродроме. Поток информации о сдвиге ветра схематически показан на рис. 5-18. По сути дела такой поток информации может быть применен и в отношении других опасных явлений погоды на малых высотах, о которых сообщают пилоты и о которых они сами получают сообщения.

5.3.3 Причины особых трудностей в обеспечении пилотов информацией о сдвиге ветра могут быть объединены в две группы под двумя основными рубриками: "Элемент времени" и "Терминология". "Элемент времени" важен потому, что наиболее опасным видом сдвига ветра на малых высотах является сдвиг неустойчивого типа, который может быть связан с любой кон-

вективной облачностью, но особенно с грозами. Период существования микропорывов (наиболее опасного невидимого проявления сдвига ветра при грозе) обычно длится менее 15 мин. В процессе работ по проекту JAWS из 40 микропорывов, наблюдавшихся при помощи доплеровской РЛС, 50 % достигали максимума интенсивности через 5 мин с момента обнаружения, а 95 % – в пределах 10 мин со времени достижения расходящимся потоком земли (см. п.3.5.16 и рис. 3-16). Некоторые из них рассеивались за 5–10 мин, причем максимальный дифференциал скорости ветра в микропорыве повышался за это время с 12,5 до 25 м/с (с 25 до 50 уз). Это были явления небольшого масштаба, занимавшие район диаметром всего лишь 1,8 км при первом обнаружении и расширявшиеся в среднем всего лишь до 3,1 км примерно за 6,4 мин. Вышесказанное наглядно иллюстрирует трудности, связанные с "фактором времени": чтобы быть эффективными, донесение пилота и предупреждения или оповещения пилотам о сдвиге ветра должны передаваться с минимальной возможной задержкой.

5.3.4 Трудности, связанные со второй рубрикой ("Терминология"), обусловлены в основном характерной сложностью вопроса и нехваткой рабочего оборудования, способного обнаружить и измерить сдвиг ветра в единицах и классах интенсивности, легко понятных пилоту с точки зрения летно-технических характеристик конкретного воздушного судна. Например, оповещение пилота о переохлажденном дожде в районе траектории захода на посадку содержит информацию, достаточную для того, чтобы пилот предпринял надлежащие меры. Сообщение о том, что в районе траектории захода ожидается или присутствует "сдвиг ветра", хотя оно, как минимум, настораживает пилота, одновременно вызывает у него целый ряд последовательно связанных вопросов, например: Какого типа? Какой интенсивности? На какой высоте? Это не банальные вопросы, поскольку от ответа на них зависит ход действий, предпринимаемых пилотом.

5.3.5 Для иллюстрации этого момента можно привести два примера трудностей, связанных с терминологией. Как описано в главе 4, сдвиг ветра может либо повысить фактические летные характеристики воздушного судна (усиление встречного ветра, уменьшение попутного ветра, восходящие потоки), либо снизить их (уменьшение встречного ветра, усиление попутного ветра, нисходящие потоки). Было бы проще, прямее и информативнее, назвать такие типы сдвига ветра соответственно "положительным" и "отрицательным" сдвигом ветра. С точки зрения теории это привлекательно и уместно, а с точки зрения пилота это непосредственно связано с потенциальными летными характеристиками и применимо ко всем воздушным судам. К сожалению, выражение "отрицательный сдвиг ветра" ("negative wind shear") на английском языке может быть также понято как означающее, что "сдвиг ветра отсутствует" и, следовательно, может быть так и воспринято, а это чревато катастрофическими последствиями. При внесении дополнительно таких слов, как "тип", с целью устранения этого затруднения, полученное в результате выражение "сдвиг ветра отрицательного типа" не может гарантировать его понимание, потому что слово "тип" может быть случайно пропущено при передаче или даже специально опущено в силу неизбежного естественного человеческого стремления сокращать фразы при радиотелефонном обмене. Альтернативными терминами, которые предложила бывшая Исследовательская группа ИКАО по сдвигу ветра и турбулентности на малых высотах (WISTSG), являются "эффект перелета" и "эффект недолета". Эти термины длиннее, но легко понимаются пилотами. Вначале имелись определенные затруднения, связанные с этими терминами, которые заключались в том, что, если пилот услышит слово "перелет", он может воспринять это как указание диспетчера УВД уходить на второй круг. Этот потенциальный источник путаницы впоследствии был устранен введением ИКАО терминов "порядок ухода на второй круг" и "повторный заход на посадку".

5.3.6 Трудность решения проблемы, связанной с классификацией интенсивности сдвига ветра, о чем говорилось в пп. 5.2.5–5.2.14, заключается в том, что такие классифицирующие термины, как "слабый", "умеренный", "сильный" и "очень сильный", основывающиеся на согласованных количественных критериях, в настоящее время не рекомендуются согласно положениям Приложения 3 (глава 7) для использования в целях предупреждения и оповещения о сдвиге ветра. Рекомендованные Пятой Аэронавигационной конференцией (Монреаль, 1967 г.) "промежуточные критерии интенсивности

сдвига ветра" предлагаются в качестве инструктивного материала и могут быть использованы государствами по их усмотрению, при полном осознании того, что, хотя они имеют ряд недостатков, результаты недавнего анализа всемирных данных о сдвиге ветра, проведенного институтом RAE, показывают, что промежуточные критерии в отношении сдвига в горизонтальных составляющих ветра скорее всего свидетельствуют о весьма осторожном подходе⁸¹ (см. таблицу 5-4 и п. 5.2.6 е) соответственно).

ДОНЕСЕНИЯ О СДВИГЕ ВЕТРА С БОРТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

5.3.7 Ввиду недостатка оборудования дистанционного определения, способного обнаруживать и измерять сдвиг ветра на малых высотах, информация о сдвиге ветра на большинстве аэродромов основывается главным образом на донесениях с борта; такое положение дел должным образом констатируется в главах 4 и 7 Приложения 3. Такие донесения с борта составляют согласно п. 5.6 главы 5 Приложения 3. Поскольку они могут быть единственным источником информации, донесения пилотов о сдвиге ветра играют жизненно важную роль в обеспечении безопасности полетов других воздушных судов. В идеальном случае пилоты должны сообщать максимальный объем относящейся к данному явлению информации, чтобы помочь другим пилотам оценить потенциальное воздействие сдвига ветра на их собственное воздушное судно. Однако необходимо отдавать себе отчет в том, что встреча со сдвигом ветра является динамичным событием, происходящим в условиях, когда экипаж испытывает большую нагрузку при остром дефиците времени и что поэтому ожидать от пилотов обстоятельных сообщений при всех обстоятельствах было бы нереальным.

5.3.8 Инструктивный материал, предназначенный для оказания пилотам помощи при составлении донесений о сдвиге ветра, разработан при содействии бывшей Исследовательской группы WIST. Этот материал основывается на том предположении, что пилоты будут передавать соответствующую информацию в том объеме, какой возможен с учетом нагрузки в кабине экипажа в данный момент (а следовательно, и имеющихся возможностей для составления и передачи донесения), а также наличия конкретного бортового оборудования, с помощью которого может быть обеспечена информация о сдвиге ветра. Исходя из вышеизложенного, донесения с борта должны содержать следующую информацию:

- a) Описание события в самой сжатой форме, включая использование термина "сдвиг ветра" и субъективную оценку его интенсивности с использованием выражений "слабый", "умеренный", "сильный" и "очень сильный" в зависимости от обстоятельств. (Аналогично описанию сдвига ветра по (субъективной) 10-бальной шкале, исходя из реакции воздушного судна на встретившийся сдвиг). В качестве альтернативы могут передаваться сообщения открытым текстом (т. е. собственными словами пилота) в отношении изменений воздушной/путевой скорости и эффектов недолета/перелета или, в обстоятельствах, когда возможно лишь минимальное извещение, просто донесение о присутствии "сдвига ветра".
- b) Тип воздушного судна в соответствии с главой 5 Приложения 3.
- c) Высота или диапазон высот, в котором происходит сдвиг ветра.
- d) Этап полета, если это не явствует само собой из донесения.
- e) Соответствующая подробная метеорологическая и/или эксплуатационная информация. В данном контексте экипажем воздушных судов, оборудованных соответствующими навигационными системами, при встрече со сдвигом ветра следует по мере возможности сообщать и такую другую относящуюся к данному вопросу информацию, как значительные изменения направления и/или скорости ветра.

5.3.9 При содействии бывшей Исследовательской группы WIST был также разработан инструктивный материал по рекомендуемой для применения при ведении связи "воздух-земля" терминологии, касающейся сдвига ветра. Ниже приводятся примерные донесения, соответствующие выше-изложенным инструктивным указаниям:

- a) минимальные донесения в отсутствие времени и/или информации для более подробного сообщения:

"[позывной] СДВИГ ВЕТРА В737 ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ (ВПП 36)"; или

"[позывной] СИЛЬНЫЙ СДВИГ ВЕТРА В737 ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ (ВПП, 36)";
или

"[позывной] СДВИГ ВЕТРА" А340 ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ (ВПП 28)"; или просто

"[позывной] СДВИГ ВЕТРА";

- b) более развернутые донесения при наличии времени и информации:

"[позывной] УМЕРЕННЫЙ СДВИГ ВЕТРА В747 НА ВЫСОТЕ 150 ФУТОВ ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ (ВПП 36) ПОТЕРЯ (ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ) НА 10 УЗ"; или

"[позывной] СИЛЬНЫЙ СДВИГ ВЕТРА В747 ЭФФЕКТ НЕДОЛЕТА НА ВЫСОТЕ МЕЖДУ 300 И 600 ФУТОВ ВРЕМЕННО НЕ МОГУ ПРОДОЛЖАТЬ НАБИРАТЬ ВЫСОТУ ПОСЛЕ ВЗЛЕТА (ВПП 13)"; или

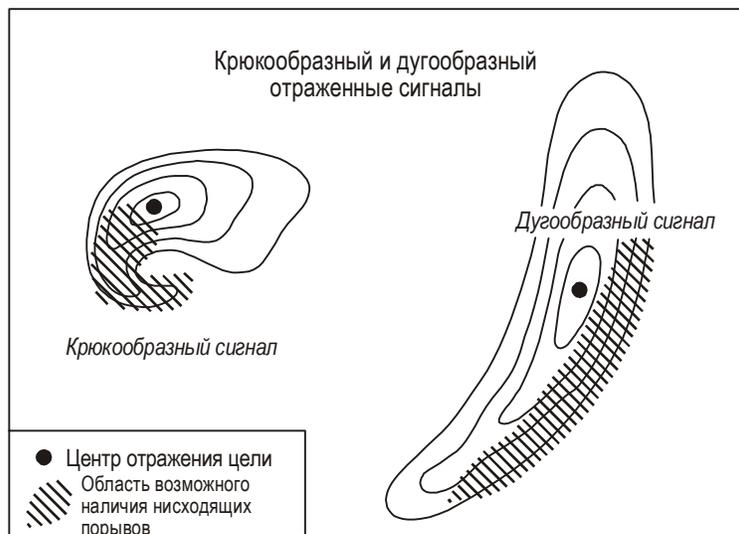
"[позывной] СИЛЬНЫЙ СДВИГ ВЕТРА А320 ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ (ВПП 26) НАПРАВЛЕНИЕ И СКОРОСТЬ ВЕТРА ИЗМЕНИЛИСЬ С 350 ГРАДУСОВ 45 УЗ НА ВЫСОТЕ 500 ФУТОВ ДО 230 ГРАДУСОВ 10 УЗ НА ВЫСОТЕ 200 ФУТОВ".

ПЕРЕДАЧА СООБЩЕНИЙ ОРГАНОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ (ОВД) О СДВИГЕ ВЕТРА

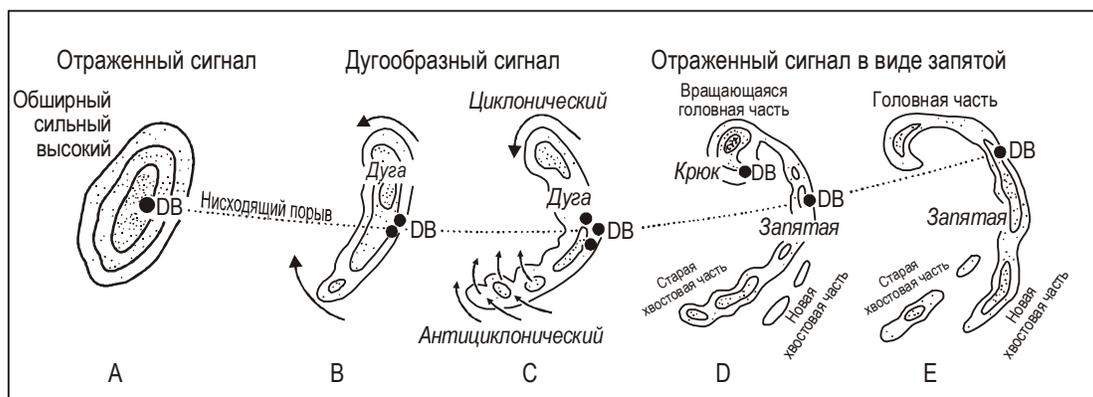
5.3.10 Как показано на рис. 5-18, органы ОВД являются критически важным связующим звеном между воздушными судами и между воздушным судном и метеорологическим органом. По получении донесения с борта о "сдвиге ветра" соответствующему органу ОВД следует:

- a) немедленно передать это донесение пилотам тех воздушных судов, которых оно касается;
- b) включить это донесение в радиовещательную передачу службы автоматической передачи информации в районе аэродрома (ATIS), если она имеется;
- c) передать это донесение соответствующему метеорологическому органу.

5.3.11 Ретрансляция донесений с борта о сдвиге ветра на борт других воздушных судов и обеспечение пилотов информацией о сдвиге ветра оговорены в пп. 6.4.1, 6.6 и 7.3.1.2.2 *Правил аэронавигационного обслуживания "Организация воздушного движения"* (Doc 4444, PANS-ATM). Ретранслировать донесение с борта следует без изменения его содержания, хотя следует включать в ретрансляцию дополнительную информацию об относящихся к делу фактах, отсутствующую в донесении, если такая информация имеется (например, тип воздушного судна, ВПП). Донесения



а) Крюкообразные и дугообразные отраженные сигналы обычно наблюдаются при нисходящих порывах. Линейная волновая схема отраженных сигналов (LEWP) часто включает быстро движущийся дугообразный отраженный сигнал. Максимальная отражательная способность дугообразного сигнала часто наблюдается слева от центра дуги.



б) Типичная морфология отраженных радиолокационных сигналов, связанных с сильными и обширными нисходящими порывами. Некоторые дугообразные сигналы распадаются до превращения в сигналы в виде запятой. В течение периода самых сильных нисходящих порывов отраженный сигнал часто принимает копьевидную форму или форму выступа с острием в сторону движения (точка "DB" обозначает местоположение нисходящего порыва).

Рис. 5-15. Характеристики отраженных радиолокационных сигналов, указывающих на наличие нисходящих порывов
 (Фудзита, 1978 г., адаптировано ИКАО)

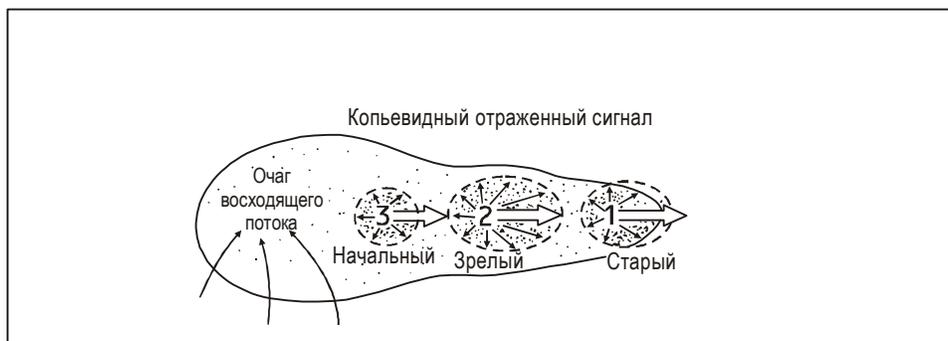


Рис. 5-16. Вид в плане предложенной Фудзито-Байерсом модели копьевидного отраженного сигнала (Фудзита, 1976 г.)

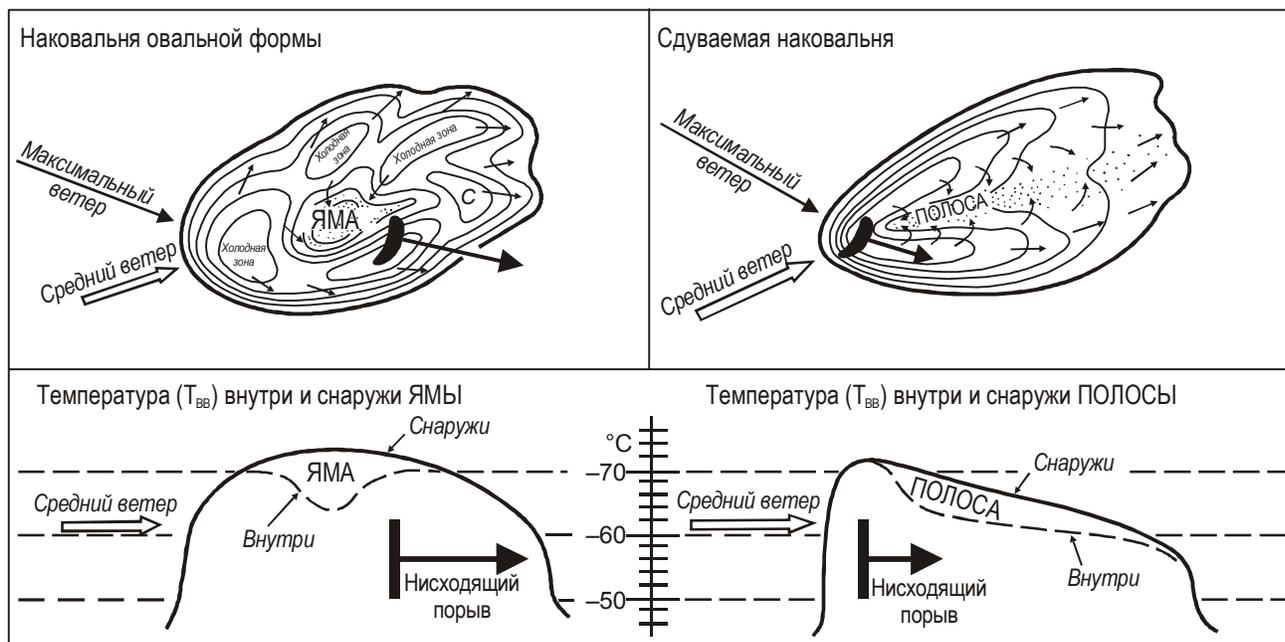


Рис. 5-17. Схематические диаграммы в плане и профиле распределения температуры на вершине облака ($T_{вв}$). Средний ветер означает ветер среднего слоя от 0 до 3 км или от 3 до 6 км ниже высоты максимального ветра вблизи уровня наковальни. Основано на результатах инфракрасного анализа четырех случаев нисходящих порывов (Фудзита, 1978 г., адаптировано ИКАО)

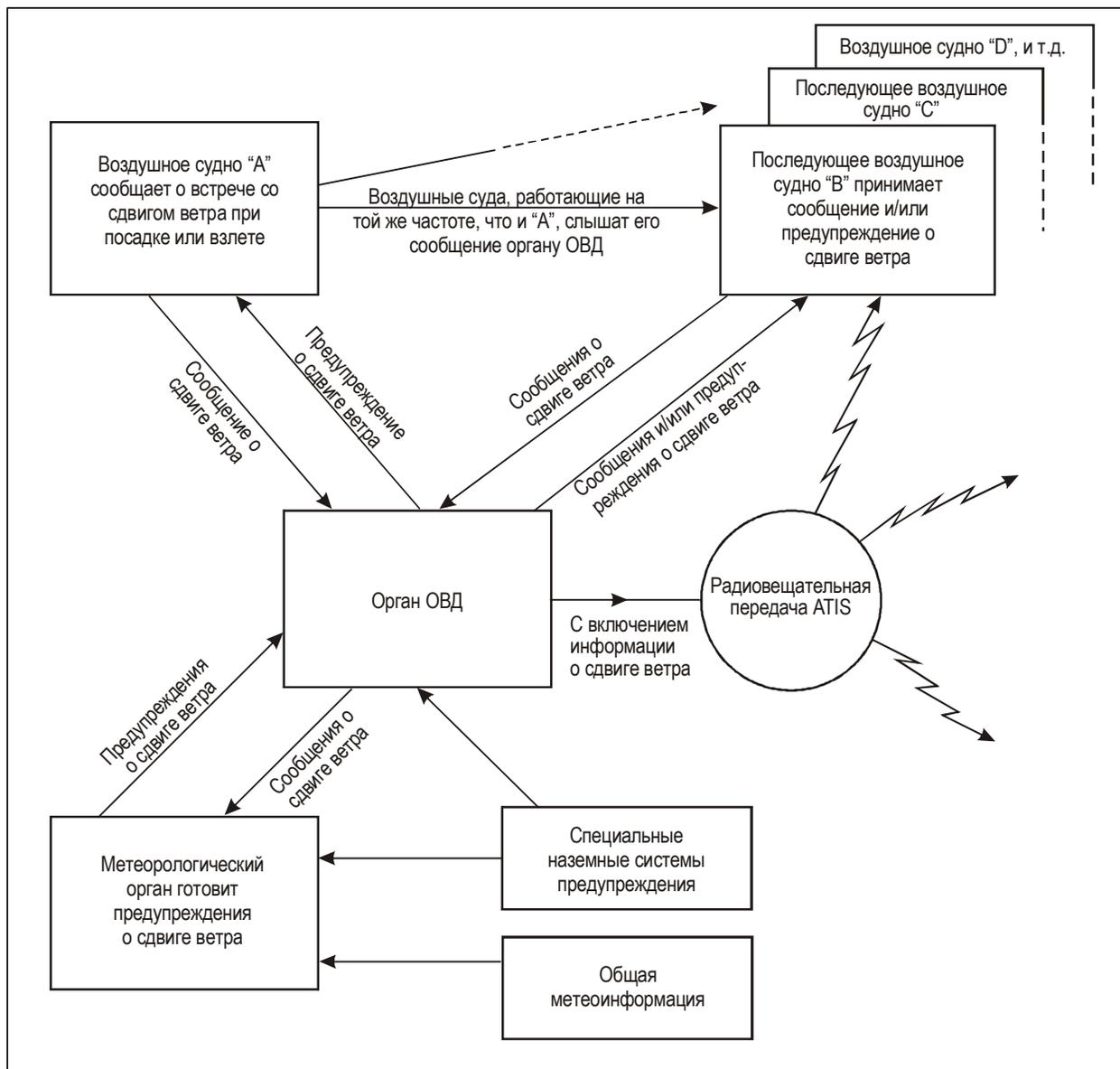


Рис. 5-18. Поток информации о сдвиге ветра между метеорологическими органами, органами ОВД и пилотами

следует ретранслировать, соблюдая следующую стандартную последовательность, причем их содержание будет зависеть от того, насколько подробным является оригинал донесения:

- a) "сдвиг ветра" – определяющая характеристика;
- b) тип воздушного судна – добавляется, если он не включен в текст оригинала донесения;
- c) описание события – без изменения текста донесения пилота;
- d) высота, на которой произошла встреча со сдвигом ветра – без изменения текста донесения пилота;
- e) этап полета – без изменения текста донесения пилота;
- f) ВПП – добавляется, если отсутствует в тексте оригинала донесения;
- g) время встречи со сдвигом ветра – без изменения текста донесения пилота;
- h) метеорологическая/эксплуатационная информация – без изменения текста донесения пилота.

Пример такого сообщения:

"СДВИГ ВЕТРА В747 СООБЩИЛ О СИЛЬНОМ СДВИГЕ ВЕТРА НА ВЫСОТЕ 300 ФУТОВ ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ ВПП 27 0937 ПОТРЕБОВАЛАСЬ МАКСИМАЛЬНАЯ ТЯГА".

5.3.12 Вопрос о включении в передачи ATIS имеющейся информации об особых явлениях погоды (т. е. включая сдвиг ветра) в зонах подхода, взлета и начального набора высоты освещается в главе 4 Приложения 11.

5.3.13 Вопрос о ретрансляции органами ОВД донесений с борта о сдвиге ветра соответствующему метеорологическому органу затрагивается в п. 4.12.6 PANS-ATM. Эти донесения составляют основу предупреждений о сдвиге ветра, подготавливаемых метеорологическим органом (см. п. 5.3.4).

5.3.14 В перечне эксплуатационных требований, содержащемся в добавлении 1, пункт 2.1 а), указывается на необходимость обеспечения пилотов информацией об изменениях приземного ветра вдоль ВПП. Горизонтальный сдвиг ветра вдоль ВПП, определяемый по большим колебаниям приземного ветра или значительной разности в значениях приземного ветра, полученных от нескольких анемометров, может вызываться воздушным потоком, обтекающим строения, фронтами воздушной массы, фронтами морского бриза, фронтами порывов и микропорывами и т. п. и может создавать трудности для пилотов при приземлении и пробеге по земле, а также во время разбега при взлете (см. главу 4). В Приложении 3, п. 4.1.1.2, рекомендуется устанавливать на аэродромах, где существует такая проблема, не один, а несколько датчиков. В соответствии с PANS-ATM информация о приземном ветре и о его значительных изменениях и колебаниях должна обеспечиваться следующим образом:

- a) орган диспетчерского обслуживания подхода передает данную информацию воздушным судам при первом установлении связи и в начале полета на конечном участке захода на посадку (глава 6);
- b) информация передается аэродромными диспетчерскими пунктами на борт воздушных судов перед их входом в аэродромный круг движения (глава 7);

- с) информация передается аэродромными диспетчерскими пунктами воздушным судам перед началом руления для взлета и перед взлетом (глава 7);
- д) такую информацию должны иметь соответствующие районные диспетчерские центры или центры полетной информации для передачи на борт сверхзвуковых воздушных судов (глава 9).

В этом контексте понятие разности значений приземного ветра в Приложении 3 относится к изменению средних значений ветра (т. е. к определенному переходу к новым значениям господствующего ветра), полученным либо от одного анемометра, либо от нескольких анемометров, тогда как понятие "колебания" приземного ветра означает условия, когда значения приземного ветра (по направлению и/или скорости) колеблются относительно некоторой средней величины, но сама средняя величина не меняется. Примером сообщения, указывающего на изменение средних значений приземного ветра вдоль ВПП, является:

"ФАСТЭЙР 345 ПОСАДКА РАЗРЕШЕНА ВЕТЕР В ТОЧКЕ ПРИЗЕМЛЕНИЯ 270 ГРАДУСОВ 7 УЗЛОВ В КОНЦЕ ВПП ВЕТЕР 160 ГРАДУСОВ 15 УЗЛОВ".

Примером же сообщения, указывающего на колебания значений приземного ветра, является следующий текст:

"ФАСТЭЙР 345 ПОСАДКА РАЗРЕШЕНА ВЕТЕР ОТ 270 ДО 350 ГРАДУСОВ 20 УЗЛОВ С ПОРЫВАМИ ОТ 10 ДО 30 УЗЛОВ".

5.3.15 На некоторых аэродромах по-прежнему используется система LLWAS (см. пп. 5.1.7–5.1.14). В этих условиях предусмотрены местные меры для передачи органами ОВД на борт воздушных судов предупреждений о сдвиге ветра, полученных от этой системы. При обнаружении значительного сдвига (разность векторов $\geq 7,5$ м/с (15 уз)) по разности показаний между двумя анемометрами, установленными по периметру и в центре летного поля, в диспетчерском пункте подается тревожный звуковой сигнал, и оба значения ветра отображаются на дисплеях и передаются на борт воздушного судна. Информация о фактической разности векторов на борт воздушных судов не передается. Примерами таких сообщений являются следующие тексты:

"СДВИГ ВЕТРА (ОПОВЕЩЕНИЕ) В ЦЕНТРЕ ЛЕТНОГО ПОЛЯ ВЕТЕР 270 ГРАДУСОВ 20 УЗЛОВ НА ЗАПАДНОЙ ГРАНИЦЕ ВЕТЕР 180 ГРАДУСОВ 25 УЗЛОВ"; или

"СДВИГ ВЕТРА (ОПОВЕЩЕНИЕ) ПО ВСЕМ КВАДРАНТАМ В ЦЕНТРЕ ЛЕТНОГО ПОЛЯ ВЕТЕР 210 ГРАДУСОВ 14 УЗЛОВ НА ЗАПАДНОЙ ГРАНИЦЕ ВЕТЕР 140 ГРАДУСОВ 22 УЗЛА".

5.3.16 Органам ОВД следует непрерывно передавать информацию об условиях сдвига ветра до тех пор, пока последующими сообщениями с борта воздушных судов или сообщением соответствующего метеорологического органа не будет подтверждено, что метеоусловия больше не имеют значения для полетов в зоне аэродрома. Об аннулировании метеорологическим органом предупреждения о сдвиге ветра говорится в главе 7 в Приложении 3, а более подробно этот вопрос рассматривается в п. 5.3.23. Органу ОВД следует продолжать ретрансляцию донесений с борта о сдвиге ветра на борт тех воздушных судов, которых это касается, до тех пор, пока донесения не будут включены соответствующим метеорологическим органом в предупреждение о сдвиге ветра. В дальнейшем предупреждение о сдвиге ветра передается на борт всех соответствующих воздушных судов вплоть до его аннулирования метеорологическим органом.

5.3.17 На аэродромах, оборудованных автоматизированными системами анемометров, TDWR или другими системами дистанционного измерения сдвига ветра, предупреждения следует передавать в соответствии с образцами формата, приведенными в главе 7 Приложения 3. Основные критерии для передачи таких сообщений содержатся в п. 5.1.20.

ОБЯЗАННОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ОРГАНОВ ПО ПЕРЕДАЧЕ СООБЩЕНИЙ О СДВИГЕ ВЕТРА

5.3.18 Метеорологическому органу, обслуживающему аэродром, следует представлять информацию о сдвиге ветра на малых высотах на аэродроме органам ОВД, эксплуатантам и т. п. в следующем виде:

- a) в предупреждениях о сдвиге ветра (см. Приложение 3, главу 7 и таблицу А6-3 в добавлении 6);
- b) в оповещениях о сдвиге ветра (глава 7 Приложения 3);
- c) в разделе дополнительной информации текущих и специальных метеорологических сводок (см. главу 4 Приложения 3).

5.3.19 Согласно главе 7 Приложения 3, предупреждения о сдвиге ветра подготавливаются метеорологическим органом для аэродромов, на которых сдвиг ветра считается проблемой. Для определения того, является ли сдвиг ветра проблемой, метеорологические полномочные органы и полномочные органы ОВД, а также соответствующие эксплуатанты должны провести тщательную оценку в соответствии с местными договоренностями применительно к каждому аэродрому. Такая оценка будет включать в себя рассмотрение возникающих на аэродроме метеорологических условий и явлений, которые могут вызвать сдвиг ветра, в частности, частоту сильных гроз (см. главу 3). Оценка должна основываться на имеющейся климатологической информации, конфигурации аэродрома (например, препятствия и здания) и рельефе местности вблизи аэродрома.

5.3.20 Предупреждения о сдвиге ветра могут основываться на донесениях с борта воздушных судов, получаемых через орган ОВД (см. п. 5.3.13), на результатах прямого наблюдения с помощью обычного метеорологического оборудования (например, анемометра), на прогнозах явлений погоды, способных вызывать сдвиг ветра (например, конвективной облачности) и на показаниях наземного оборудования предупреждения о сдвиге ветра (например, анемометры, установленные на вышках). Предупреждения следует составлять открытым сокращенным текстом и в соответствии с шаблоном, приведенном в таблице А6-3 добавления 6 Приложения 3 обозначать идентификатором "WS WRNG" (сокращение английских слов "ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ О СДВИГЕ ВЕТРА", например:

"YUDO WS WRNG 01 211230 VALID 211245/211330 WS APCH RWY12 FCST SFC WIND: 320/10KT
60 M-WIND: 360/25KT"

[т. е. предполагается, что данные фактического ветра известны].

Если для составления предупреждения или для подтверждения ранее переданного предупреждения используется донесение с борта воздушного судна, то последнее, включив в него тип данного воздушного судна, следует приводить без изменения, например:

"YUCC WS WRNG 02 201500 VALID TL 201545 MOD WS IN APCH REP AT 1455 B747 30KT LOSS
2NM FNA RWY13".

5.3.21 В отношении предупреждений о сдвиге ветра, основывающихся на прогнозах соответствующих явлений погоды, трудно следовать догме в том, что касается предпочтительного порядка представления. В целом, обеспечение надежных прогнозов сдвига ветра, связанного с такими явлениями, в количественном выражении будет невозможным, а это значит, что могут обеспечиваться только качественные оценки. При таких обстоятельствах возникает искушение включать информацию, которая, если ее строго оценивать, не совсем относится к данному случаю. Этого следует избегать, и предупреждения всегда должны составляться как можно более сжато и в соответствии с шаблоном, приведенном в таблице А6-3 добавления 6 Приложения 3. Они должны содержать ясное указание их статуса "прогноза" путем использования сокращения FCST (сокращение английского слова "ПРОГНОЗ").

5.3.22 Необходимо также учитывать конвективный и неконвективный сдвиги ветра, и которые, возможно, потребуется рассматривать отдельно. Хотя пилотам и персоналу ОВД должно быть понятно, что, если предсказываются грозы, они автоматически будут включать сдвиг ветра, равно как и обледенение, турбулентность, град и т. д., все же необходимо обращать внимание на такие особые ситуации, как микропорывы. Такое предупреждение может быть сформулировано следующим образом:

"YUDO WS WRNG 1 231530 VALID 231600/231605 MBST CLIMB-OUT RWY26 FCST".

Бесчисленные предупреждения о сдвиге ветра, передаваемые ежедневно буквально из-за каждой отдельной грозы, принесут мало пользы. Заинтересованные полномочные органы должны оценивать обстановку на своих аэродромах и соответственно устанавливать местные правила.

5.3.23 Что касается неконвективного сдвига ветра (например, струйное течение на малых высотах), то возможность прогнозирования сопутствующих метеорологических явлений намного выше. Примером такого предупреждения может быть:

"YUDO WS WRNG 01 240600 VALID 240700/240900 WS IN APCH FCST SFC WIND: 270/03 MS 600 M-WIND: 360/25 MS".

Там, где устойчивый сдвиг ветра является регулярным признаком климатологии аэродрома при хорошо известных и повторяющихся метеорологических условиях, такие как сдвиг ветра под влиянием рельефа местности, следует включать подробные сведения об этом в раздел MET государственных сборников AIP в качестве полезной исходной информации для пилотов, а эксплуатантам следует включать такую информацию в соответствующие маршрутные инструктивные указания.

5.3.24 В соответствии с положениями главы 7 Приложения 3 предупреждения о сдвиге ветра следует аннулировать в тех случаях, когда в сообщениях с борта воздушных судов отмечается отсутствие сдвига ветра, или по прошествии согласованного периода времени, если дальнейших сообщений не поступает. Критерии аннулирования предупреждения о сдвиге ветра следует устанавливать на месте для каждого аэродрома по согласованию между метеорологическим полномочным органом, полномочным органом ОВД и заинтересованными эксплуатантами. В этом контексте следует учитывать нормальный "состав движения" на аэродроме, чтобы, например, не допустить слишком раннего аннулирования предупреждений о сдвиге ветра, составленных на основе донесений с бортов легких воздушных судов, только потому, что последующие донесения с борта тяжелых реактивных транспортных воздушных судов не подтвердили присутствия этого сдвига ветра (т. е. он, возможно, не обладал достаточной для воздействия на них интенсивностью). В этом отношении важность эффективного взаимодействия органов ОВД, метеообеспечения и эксплуатанта трудно переоценить. Более подробно эти вопросы обсуждаются в *Руководстве по координации между органами обслуживания воздушного движения, службами аэронавигационной информации и авиационными метеорологическими службами* (Doc 9377).

5.3.25 Оповещения о сдвиге ветра (см. главу 7 Приложения 3) должны передаваться на аэродромах, оснащенных соответствующим автоматическим наземным оборудованием дистанционного зондирования или обнаружения сдвига ветра. В оповещениях, выдаваемых этими системами, должна содержаться точная и актуальная информация в отношении наблюдаемого наличия сдвига ветра, при котором скорость встречного/попутного ветра изменяется на 7,5 м/с (15 уз) или более, что может оказать неблагоприятное влияние на воздушное судно, находящееся на конечном этапе захода на посадку или выполняющее разбег перед взлетом. Оповещения должны обновляться не менее одного раза в минуту и аннулироваться сразу же после того, как изменение скорости встречного/попутного ветра станет менее 7,5 м/с (15 уз). Фразеология, используемая для передачи оповещений, должна определяться на местах применительно к каждому аэродрому по согласованию между полномочными метеорологическими органами, полномочными органами ОВД и соответствующими эксплуатантами.

Примечание. При отсутствии автоматического оборудования передавать оповещение о сдвиге ветра не требуется. Однако в тех случаях, когда это уместно, предупреждения о сдвиге ветра должны передаваться на всех аэродромах.

5.3.26 Включение информации о сдвиге ветра в раздел дополнительной информации регулярных и специальных метеорологических сводок в течение многих лет предусматривается рекомендуемой практикой в главе 4 Приложения 3. Таким образом, наблюдатели знакомы с этим правилом, и каких-либо особых рекомендаций здесь не требуется. Следовало бы, однако, указать, что, если на аэродроме вводится передача предупреждений о сдвиге ветра, следует позаботиться о том, чтобы составленные для местного персонала инструкции/правила и т. д. в отношении "предупреждений" и в отношении "включения сдвига ветра в раздел дополнительной информации" были совместимы и ни в чем не противоречили друг другу. Проблема, которую следует иметь в виду, состоит в том, что, когда на аэродроме планируется автоматизация обработки и отображения метеосводок, следует предусмотреть соответствующее математическое обеспечение систем связи и отображения, позволяющее осуществлять произвольное включение в сводки дополнительной информации о сдвиге ветра. Пример такой дополнительной информации, передаваемой сокращенным открытым текстом, может выглядеть следующим образом:

"SPECIAL YUDO 151115Z WIND 050/25KT MAX37 MNM10 VIS 2500M TSRA CLD BKN CB 500FT T25/DP22 QNH 1008HPA WS IN CLIMB-OUT".

КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА ФАУ ПО СДВИГУ ВЕТРА (АЭРОДРОМНАЯ ИНФОРМАЦИЯ)

5.3.27 В данной составной части программы речь идет о разработке правил своевременной передачи пилотам информации о сдвиге ветра в районе аэродрома. Она охватывает использование таких систем, как метеорологическая РЛС, LLWAS и TDWR (см. пп. 5.1.5, 5.1–5.1.14 и 5.1.19, соответственно).

ТИПОВАЯ ОСНОВНАЯ СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О СДВИГЕ ВЕТРА

5.3.28 Производимое в заключение рассмотрение типовой основной "системы предупреждения о сдвиге ветра" в том виде, в котором она создана в аэропорту Хельсинки-Вантаа в Финляндии, может послужить иллюстрацией того, что может быть достигнуто на практике в деле решения конкретной проблемы⁸² устойчивого сдвига ветра. Пример более сложной системы, связанной с проблемой неустойчивого сдвига ветра, приводится в добавлении 4.

5.3.29 В Финляндии, Скандинавии и в других районах мира, сдвиг ветра, связанный с температурными инверсиями на малых высотах, – явление весьма обычное. Потенциальное

ухудшение летных характеристик воздушного судна во время посадки и взлета при попадании в условия более высоких температур, чем нормальный температурный градиент, в сочетании с быстро меняющимися составляющими встречного/попутного ветра является предметом серьезного беспокойства полномочных органов. Чтобы решить эту проблему, на существующей мачте для телевизионного передатчика высотой 300 м (1000 фут), расположенной на расстоянии 20 км (12 м. миль) к юго-западу от аэропорта, были установлены на выбранных уровнях датчики ветра, температуры и влажности. Информация от этих датчиков передается в аэропорт и обрабатывается на ЭВМ в реальном масштабе времени. Данные о ветре с телевизионной мачты коррелируются с данными ИНС, сообщаемыми с борта воздушных судов при посадке и взлете, и оба комплекта данных коррелируются на +0,85 по скорости и на +0,99 по направлению. Выпускаются предупреждения о сдвиге ветра и о значительной инверсии (≥ 10 °С в соответствии с временным требованием, сформулированным в рекомендации 3/5 Восьмой Аэронавигационной конференции, (Монреаль, 1974 г.). Предупреждения отображаются на экранах мониторов аэродромной внутренней телевизионной системы и включают информацию о фактическом ветре на выбранных высотах и величине инверсии в следующем виде:

"WS WRNG
ВЕТЕР НА 700 ФУТ 160/30 УЗ
ВЕТЕР НА 300 ФУТ 090/05 УЗ
ИНВЕРСИЯ НА 12°С НИЖЕ 900 ФУТ".

Предупреждение о сдвиге ветра/инверсии, действующее в любое время, также упоминается в качестве примечания в регулярной метеосводке, которая автоматически отображается на экранах мониторов аэродромной внутренней телевизионной системы. Эта система предупреждения находится в регулярной эксплуатации с 1978 г. и считается весьма полезной. Аналогичные системы эксплуатируются в других местах, например в Гонконге (Китай), Дании, Российской Федерации и Швеции. В Гонконге анемометры установлены на возвышенности в стратегических точках вдоль траектории захода на посадку.⁸³

Справочные материалы

1. Zeltmann, 1985: The crash of C-GTLA, Preprints, *Second Conference on Aviation Weather Systems*, Montréal, Canada, American Meteorological Society.
2. Bell and Tsui, 1981: A low-level wind shear detection system, *Weather*, Royal Meteorological Society, London.
3. Fahey, Shun, VanGerpen, Asano and Nguyen, 2006: Low Altitude Wind Shear Hazards: Ground Based Detection and Commercial Aviation User Needs, Twelfth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, American Meteorological Society, Atlanta, GA, USA, 29 January - 2 February 2006.
4. Lee, 2004: Enhancement of the Anemometer-based System for Windshear Detection at the Hong Kong International Airport, Eighth Meeting of the Communications/Navigation/Surveillance and Meteorology Sub-Group (CNS/MET/SG/8) of APANPIRG, Bangkok, Thailand.
5. Kingswell, 1984: Observations of a quasi-circular squall line off north-west Australia, *Weather*, Royal Meteorological Society, London.
6. Goff, 1980: Low-level wind shear alert system (LLWSAS), United States Federal Aviation Administration, Report No. FAA-RD-80-45.
7. Wilson and Wesley, 1992: Specification: enhanced LLWAS III logarithms, M.I.T. Lincoln Laboratory.
8. Wilson and Cole, 1983: LLWAS II and LLWAS III Performance Evaluation, Preprints, *Fifth Conference on Aviation Weather Systems*, Vienna, VA, American Meteorological Society.
9. United States Federal Aviation Administration, 1989: Siting guidelines for LLWAS remote facilities, FAA Order 6560.21A.
10. Nilsen, Biagi and Law, 1999: Implementation status on the LLWAS relocation and sustainment programme (LLWAS-RS), Preprints, *Eighth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Dallas, TX, American Meteorological Society.
11. Fage and Huguet, 1985: Wind shear detection using Doppler acoustic sounder (SODAR), Preprints, *Second Conference on Aviation Weather Systems*, Montréal, Canada, American Meteorological Society.
12. Singal, Aggarwal and Gera, 1982: Studies of correlation between SODAR, observed stratified layer structures and wind shear, *Mausam*, Volume 33, Indian Meteorological Department.
13. Turesson and Dahlquist, 1985: Use of SODAR and mini-SODAR in aviation for wind shear warnings and short-term forecasting, *Third WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation*, Ottawa, Canada.
14. Motallebi, 1982: Doppler radar observation of the evolution of downdrafts in convective cloud, NASA Atmospheric Sciences Paper No. 35.
15. Clift, 1985: Use of radar in meteorology, WMO Technical Note No. 181.
16. Mahoney and Biter, 1993: Wind shear detection: TDWR and LLWAS operational experience in Denver 1988–1992, Preprints, *Fifth Conference on Aviation Weather Systems*, Vienna, VA, American Meteorological Society.
17. Evans, 1991: Status of the terminal Doppler weather radar one year before deployment, Preprints, *Fourth Conference on Aviation Weather Systems*, Paris, France, American Meteorological Society.
18. Cornman and Mahoney, 1991: Integration of the TDWR and LLWAS wind shear detection systems, Preprints, *Fourth Conference on Aviation Weather Systems*, Paris, France, American Meteorological Society.

19. Isaminger, Boorman and Crowe, 1996: Discussion of the impact of data contamination on TDWR algorithm performance, *Workshop on Wind Shear and Wind Shear Alert Systems*, Oklahoma City.
20. Isaminger, Crowe and Proseus, 2000: ITWS and ITWS/LLWAS-NE alert performance at Dallas-Ft. Worth and Orlando, Preprints, *Ninth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Orlando, FLA, American Meteorological Society.
21. Fahey, Bernays, Biron and Cole, 2000: Distribution of aviation weather hazard information: low altitude wind shear, Preprints, *Ninth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Orlando, FLA, American Meteorological Society.
22. Cho, J. Y. N., G. R. Elkin, and N. G. Parker, 2005: Enhanced radar data acquisition system and signal processing algorithms for the Terminal Doppler Weather Radar, Preprints, 32nd Conf. on Radar Meteorology, Albuquerque, NM, Amer. Meteor. Soc.)
23. Isaminger, M., E. A. Proseus, 2000: Analysis of the Integrated Terminal Weather System (ITWS) 5-nm Product Suite, 9th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology, Orlando, FL, Amer. Meteor. Soc.
24. Cole and Todd, 1993: A comparative performance study of TDWR/LLWAS-3 integration algorithms for wind shear detection, Preprints, *Fifth Conference on Aviation Weather Systems*, Vienna, VA, American Meteorological Society.
25. Cole, 1992: TDWR/LLWAS Integration Algorithm Specification, Version 1.1, Report No. DOT/FAA/NR-92/3.
26. NCAR/RAP, 1993: Summary Project Report: The 1992 demonstration and evaluation of an integrated wind shear and gust front detection and warning system at Stapleton Airport.
27. Evans, 1991: Integrated Terminal Weather System (ITWS), Preprints, *Fourth Conference on Aviation Weather Systems*, Paris, France, American Meteorological Society.
28. Evans and Wolfson, 2000: Extending the Integrated Terminal Weather System (ITWS) to address urgent terminal area weather needs, Preprints, *Ninth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Orlando, FLA, American Meteorological Society.
29. Wolfson, Forman, Hollowell, and Moore, 1999: The growth and decay storm tracker, *79th Annual Conference of the American Meteorological Society*, Dallas, Texas.
30. Proseus and Isaminger, 1999: Optimizing the performance of the ITWS microburst detection algorithm in dry environments, Preprints, *Eighth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Dallas, TX, American Meteorological Society.
31. Wolfson, Delanoy, Liepins, Forman and Hollowell, 1983: The ITWS microburst prediction algorithm, Preprints, *Fifth Conference on Aviation Weather Systems*, Vienna, VA, American Meteorological Society.
32. United States Aviation Administration, 1998: ITWS gust front products, *Description of ITWS Weather Products*, MIT/Lincoln Laboratory, FAA Aviation Technology Seminar.
33. Greeves, 1998: Unique wind shear and turbulence warning system enters operation at Hong Kong=s new airport, *ICAO Journal*.
34. Nierow, Showalter and Souders, 1999: — The role of ITWS in the modernization of the national airspace system, Preprints, *Eighth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Dallas, TX, American Meteorological Society.
35. Koepp, Schwiesow and Werner, 1984: Remote measurements of boundary layer wind using CW Doppler LIDAR, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, American Meteorological Society.

36. Keohan, Christopher, K. Barr, and S.M. Hannon, 2006: Evaluation of Pulsed Lidar Wind Hazard Detection at Las Vegas International Airport. AMS 12th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology, Atlanta.
37. Little, 1982: Ground-based remote sensing for meteorological nowcasting, *Nowcasting*, Academic Press Inc. (London) Ltd.
38. Mueller, Steven et al., 2004: Juneau Airport Wind Hazard Alert System Display Products. AMS 11th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology, Hyannis.
39. Choy, Lee, Shun and Cheng, Prototype automatic LIDAR-based wind shear detection algorithms, Preprints, *Eleventh Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Hyannis, MA, American Meteorological Society.
40. Chan, Shun and Wu, 2006: Operational LIDAR-based system for automatic windshear alerting at the Hong Kong International Airport, Preprints, *Twelfth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Atlanta, GA, American Meteorological Society.
41. HKO and IFALPA, 2005: *Windshear and Turbulence in Hong Kong — information for pilots*, Second Edition.
42. United States Federal Aviation Administration, Airworthiness criteria for the approval of airborne wind shear warning systems in transport category airplanes, FAA Advisory Circular AC 25-12, 11 February 1987, and Criteria for the operational approval of airborne wind shear alerting and flight guidance systems, FAA Advisory Circular AC 120-41, 11 July 1983.
43. Bowles, 1990: Reducing wind shear risk through airborne systems technology, 17th Congress of the ICAS, Stockholm, Sweden and, same author, Windshear detection and avoidance — airborne systems survey, 29th IEEE Conference on Decision Control.
44. Lewis, Robinson, Hinton and Bowles, 1994: The relationship of an integral wind shear hazard to aircraft performance limitations, NASA TM — 109080.
45. Proctor and Hinton, 2000: A wind shear hazard index, Preprints, *Ninth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Orlando, FLA, American Meteorological Society.
46. United States Federal Aviation Administration, 1995: Airborne short and long range wind shear predictive systems (forward-looking wind shear systems) — general certification methodology and system level requirements.
47. Vickroy, Bowles and Schlickemaier, 1991: Airborne wind shear detection and warning systems, *Third Combined Manufacturers' and Technologists' Conference*, Hampton, VA, NASA Publication 10060, Part 2:DOT/FAA/RD-91/2-II.
48. Staton, 1984: Airborne Doppler radar for wind shear detection, *Workshop on Wind Shear/Turbulence Inputs to Flight Simulation and Systems Certification*, Hampton, VA.
49. Bracalante, et al., 1988: Airborne Doppler detection of low altitude wind shear, *AIAA/NASA/AFWAL Sensors and Measurement Technologies Conference*, Atlanta, Georgia, AIAA-88-4657.
50. Woodfield, 1983: Wind shear and wake vortex research in the United Kingdom (1982), NASA Report CP-2274.
51. Doviak, et al., 1986: Analysis of airborne Doppler LIDAR, Doppler radar and tall tower measurements of atmospheric flows in quiescent and stormy weather, NASA Contractor Report No. 3960.
52. Emmitt, 1985: Convective storm downdraft outflows detected by NASA/MSFC airborne 10.6 м.милль pulsed Doppler LIDAR system, NASA Contractor Report No. 3898.

53. Frehlich, Hannon, and Henderson, 1998: Coherent Doppler LIDAR measurements of wind field statistics, *Boundary Layer Meteorology*, Volume 86. Also by the same authors, Performance of a 2 μ coherent Doppler LIDAR for wind measurements, *Journal of Atmospheric Oceanic Technology*, Volume 11, 1994.
54. Huffaker and Hardesty — Remote Sensing of Atmospheric Wind Velocities Using Solid State and Coherent Laser Systems, Proceedings IEEE, Volume 84, No. 2, 1996.
55. Soreide, Bogue, Ehernberger, Hannon and Bowdle, 2000: Airborne coherent LIDAR for advanced in-flight measurements (ACLAIM) flight testing of the LIDAR sensor, Preprints, *Ninth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, Orlando, FLA, American Meteorological Society.
56. Steenblik, 1984: The caret, the worm and the flat-footed duck, *Airline Pilot Magazine*.
57. Schlickemaier, 1984: Case history of FAA/SRI wind shear models, *Proceedings of Workshop on Wind Shear/Turbulence Inputs to Flight Simulation and Systems Certification*, Hampton, VA.
58. Badner, 1979: Low-level wind shear: A critical review, NOAA Technical Memorandum NWS FCST-231.
59. Woodfield and Woods, 1984: World-wide experience of wind shear during 1981–82, Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD), Conference Proceedings No. 347.
60. Swolinsky, 1986: Wind shear models for aircraft hazard investigation, *2nd International Symposium on Aviation Safety*, Toulouse, France.
61. United States Federal Aviation Administration Advisory Circular AC-120-41, 11 July 1983: Criteria for approval of airborne wind shear alerting and flight guidance systems.
62. TSO-C117, Airborne wind shear warning and escape guidance systems for transport airplanes, FAA Aircraft Certification Service, 24 July 1990.
63. Richwien and Mcleod, 1978: Low level frontal wind shear forecast test, FAA Report No. FAA-RD-77-184.
64. Brook, 1970: Preliminary study of wind shear in the boundary layer at Melbourne Airport, Meteorological Study No. 19, Australian Bureau of Meteorology.
65. Fox, 1979: Climate of Seychelles, Seychelles Government Publications, Directorate of Civil Aviation, Seychelles.
66. Zipser and Bedard, 1982: Front range wind storms revisited, *Weatherwise*, United States.
67. Smith, 1985: On severe downslope winds, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
68. Harrison, 1965: The mountain wave, NASA Report No. CR-315.
69. Hopkins, 1977: Forecasting techniques of clear air turbulence including that associated with mountain waves, WMO Technical Note No. 155.
70. Nicholls, 1973: The airflow over mountains, WMO Technical Note No. 127.
71. Dawe, 1982: A study of the katabatic wind at Bruggen on 27 February 1975, *Meteorological Magazine*, London.
72. André and Mahot, 1982: The nocturnal surface inversion and influence of radiative cooling, *Journal of the Atmospheric Sciences*.
73. Abele, 1982: Diurnal variability of wind velocity increase with height, Los Alamos National Laboratory Research Paper No. LA-9601-MS.

74. Browning (Ed), 1982: *Nowcasting*, Academic Press Inc. (London) Ltd.
 75. World Meteorological Organization, 1983: Report of the Eighth Session of the WMO Commission for Basic Systems, Geneva.
 76. Smith, Wade and Woolf, 1985: Combined atmospheric sounding/cloud imagery: A new forecasting tool, *Bulletin of the American Meteorological Society*.
 77. George, 1960: *Weather forecasting for aeronautics*, Academic Press, New York.
 78. Bond, Browning and Collier, 1981: Estimates of surface gust speeds using radar observations of showers, *Meteorological Magazine*, London.
 79. Fujita, 1978: Manual of downburst identification for Project NIMROD, SMRP Research Paper No. 156, University of Chicago.
 80. Fujita, 1976: Spearhead echo and downburst near the approach end of a JFK Airport runway, New York City, University of Chicago, SMRP Research Paper No. 137.
 81. Woodfield and Woods, 1981: Wind shear from head wind measurements on British Airways B747-236 aircraft, Royal Aircraft Establishment Technical Memorandum No. FS409.
 82. Korhonen, 1981: An operational wind shear and inversion warning system for Helsinki-Vantaa Airport, Finnish Meteorological Institute Research Papers.
 83. Klemp and Weisman, 1983: The dependence of convective precipitation patterns on vertical wind shear, Preprints, *21st Conference on Radar Meteorology*, Edmonton, Canada, American Meteorological Society.
-

Глава 6

ПОДГОТОВКА ПЕРСОНАЛА

6.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.1.1 Хотя сдвиг ветра не является новым явлением в метеорологии и, разумеется, не представляет единственную метеорологическую опасность для авиации, существуют по крайней мере две причины почему сдвигу ветра уделяется столько внимания. Во-первых, в последние годы наблюдается повышение уровня осознания его опасного воздействия на летные характеристики самолетов в условиях все возрастающего числа тяжелых реактивных транспортных воздушных судов и целой серии авиационных происшествий в 1970–1980-х гг., унесших человеческие жизни. Во-вторых, в авиационных кругах все еще сохраняется путаница и непонимание в отношении причин сдвига ветра, того, что он собой представляет и к чему он может привести. Частично это можно объяснить несомненной сложностью вопроса и окружающей его неопределенностью, а частично краткосрочным характером сдвига ветра. Несомненно, успешная разработка в 1990-х гг. эффективных наземных и бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра склонила чашу весов в сторону пилота. Однако в то же время ни одна система не дает стопроцентной гарантии, и кроме того, лишь немногие государства могут позволить себе установку и техническое обслуживание такого сложного наземного оборудования для предупреждения о сдвиге ветра, как система TDWR. Каково бы ни было оборудование для предупреждения о сдвиге ветра, восстановление нормального положения при встрече с очень сильным сдвигом ветра всегда требует быстрой реакции и умения со стороны пилота. Главная трудность, все еще стоящая перед пилотами и метеорологами, связана с точным предсказанием появления сдвига ветра на малых высотах. Отсутствие такой точности приводит к тому, что даже если сдвиг ветра предсказан и имеет место в какой-либо зоне, воздушное судно, летящее в этой зоне, может не встретиться с ним из-за локализованного и неустойчивого характера его воздействия. В этом одна из причин того, что сообщения о встрече со сдвигом ветра играют столь важную роль (см. п. 6.8). Единственным способом противостоять путанице и ложным представлениям и обеспечить пилоту основу для принятия правильных решений и быстрой реакции при неожиданной встрече со сдвигом ветра является соответствующая учебная подготовка.

6.1.2 Необходимость разработки учебной программы нельзя переоценить в свете обеспечения того, чтобы все, кто причастен к эксплуатации воздушных судов, были поставлены в известность об опасных, потенциально губительных последствиях сдвига ветра на малых высотах. Программа для летных экипажей должна начинаться с самого раннего этапа их обучения и продолжаться на всем протяжении их профессиональной карьеры. Следует обеспечить проведение переподготовки, которая должна быть сосредоточена на повышении уровня усвоения способов, позволяющих распознавать это явление, избегать встречи с ним и противостоять ему, особенно с учетом результатов непрерывно ведущихся технических разработок. Требования в отношении обучения касаются как пилотов, так и бортинженеров. Кроме того, сотрудникам по обеспечению полетов (полетные диспетчеры) и диспетчерам УВД, а также их помощникам необходимо пройти подготовку по вопросам, связанным с уяснением опасного характера этого явления и его распознавания. Метеорологи нуждаются в специальной подготовке в своей области по прогнозированию сдвига ветра, при этом особое внимание должно уделяться воздействию сдвига ветра на полеты воздушных судов. И, наконец, исключительно важно, чтобы об опасности сдвига ветра знали бортпроводники.

6.1.3 Хотя определенные аспекты этого предмета требуют разной степени внимания в зависимости от конкретной области деятельности того или иного индивидуума, а уровень и рамки подготовки должны соответствовать его обязанностям, всему связанному с летной эксплуатацией персоналу необходимо иметь понятие о сдвиге ветра, об условиях, в которых он может возникнуть, и о том, насколько серьезным может быть его влияние на полеты самолетов.

6.1.4 В добавлении 1 содержится перечень эксплуатационных требований. В п. 4 этого перечня, где говорится о подготовке персонала, изложено требование в отношении необходимости обучать пилотов приемам противодействия влиянию сдвига ветра на малых высотах. Поскольку подготовка отчасти является специфической в том, что касается различных типов воздушных судов, изготовители воздушных судов должны представлять значительный объем необходимой информации, дополненной и упорядоченной эксплуатантами с тем, чтобы обеспечивалось соблюдение их конкретных эксплуатационных и учебных правил.

6.2 ЦЕЛИ ПОДГОТОВКИ ЛЕТНЫХ ЭКИПАЖЕЙ

6.2.1 Пилоты и бортинженеры должны проходить подготовку по одной и той же программе. Необходимо, чтобы упражнения на пилотажном тренажере проводились в присутствии летного экипажа в полном составе, с тем чтобы выработать у всех них способность распознавать условия сдвига ветра и усвоить необходимые действия, производимые экипажем совместно. Способность распознавать встречу со сдвигом ветра и выполнять необходимые последующие действия будет в значительной степени различной в зависимости от имеющегося на борту оборудования и степени интенсивности сдвига ветра.

6.2.2 Минимальными целями любой программы подготовки летных экипажей следует считать следующие:

- a) выработку понимания динамики сдвига ветра и способности оценивать его влияние на летные характеристики воздушного судна;
- b) изучение ключевых признаков, помогающих определять условия, в которых может произойти сдвиг ветра;
- c) выработка способности распознавать на ранней стадии фактическую встречу со сдвигом ветра;
- d) выработка способности выполнять в кабине экипажа порядок действий (возможно, чрезвычайных), которые могут потребоваться при встрече со сдвигом ветра.

6.2.3 Первые две из этих четырех целей по существу относятся к наземной подготовке, тогда как последние две требуют таких условий обучения, какие могут быть созданы на основе применения пилотажного тренажера, позволяющего обеспечить проведение эффективной подготовки летных экипажей по данным вопросам.

6.3 НАЗЕМНАЯ ПОДГОТОВКА ЛЕТНЫХ ЭКИПАЖЕЙ

6.3.1 Наземная подготовка для первоначального получения свидетельства пилота-любителя и пилота коммерческой авиации должна преследовать цель ознакомления с опасными проявлениями сдвига ветра и включать описанные в п. 6.2.2 цели программы а) и б).

6.3.2 В *Руководстве по обучению*, часть F-1 "Метеорологическое обеспечение диспетчеров воздушного движения и пилотов" (Дос 7192) содержатся подробные сведения о подготовке по вопросам сдвига ветра для получения свидетельства пилота коммерческой авиации.

6.3.3 В 1987 г. ФАУ выпустило отличное учебное пособие по сдвигу ветра,¹ в котором приводится подробное разъяснение воздействия сдвига ветра на полеты воздушных судов и содержится значительный объем вспомогательных материалов.

6.3.4 Как разъясняется в главе 4, размеры и масса воздушного судна являются важными факторами в отношении степени воздействия сдвига ветра на летные характеристики конкретного типа воздушного судна. Следовательно, особое внимание необходимо уделять обучению на тяжелых воздушных судах, на получение права управления которыми пилотам требуется квалификационная отметка типа. Таким образом, помимо расширенной подготовки в отношении первых двух целей, наземная подготовка, обеспечиваемая эксплуатантом для летного экипажа на воздушном судне конкретного типа ДОЛЖНА предусматривать ознакомление со специфическими характеристиками воздушного судна этого типа, включая подробное ознакомление с любым имеющимся бортовым оборудованием для обнаружения сдвига ветра. Эта подготовка должна также проводиться с учетом климатологии географической зоны, куда будет летать экипаж, особенно если для таких районов характерен повышенный риск встречи со сдвигом ветра. Следует особо подчеркнуть, что:

- a) для предотвращения катастрофы надо предотвращать встречи со сдвигом ветра;
- b) распознавание фактической встречи со сдвигом ветра в полете может произойти на слишком позднем этапе, чтобы пилот мог предпринять какие-либо действия;
- c) если имеется специальное бортовое приборное оборудование, чрезвычайно важно предпринимать соответствующие действия немедленно по получении предупреждения, следуя предусмотренным инструктивным указаниям и правилам, разработанным эксплуатантом.

Необходимо подчеркнуть, что такую наземную подготовку должны проходить все пилоты, претендующие на получение квалификационной отметки, дающей право на пилотирование тяжелых воздушных судов, независимо от категории свидетельства пилота, обладателями которого они являются.

6.3.5 Имеется ряд наглядных учебных пособий, предоставляемых в помощь государствам и эксплуатантам при составлении программ подготовки по вопросам сдвига ветра (см. добавление 9).

6.4 ЛЕТНАЯ ПОДГОТОВКА И ПОДГОТОВКА НА ТРЕНАЖЕРЕ

6.4.1 Программа подготовки летных экипажей должна также охватывать вопросы распознавания в полете присутствия сдвига ветра и порядка действий, а также техники пилотирования, применяемой при встрече со сдвигом ветра.

6.4.2 Главное препятствие для эффективного проведения летной подготовки заключается в том, что соответствующая техника пилотирования, считающаяся наиболее приемлемой при встрече со сдвигом ветра, сама по себе слишком опасна, чтобы ее можно было отрабатывать в полете. Маневры придется осуществлять на грани возможностей, обеспечиваемых летными характеристиками воздушных судов с малым или нулевым запасом для исправления ошибок. Более того,

установка режимов тяги двигателей за пределы нормальных ограничений недопустима, за исключением случаев, связанных с действительно аварийной ситуацией. Эти факторы в сочетании с тем фактом, что встречи со сдвигом ветра, к счастью, происходят редко, делают практически невозможной такого рода летную подготовку в реальных условиях. Даже если можно было бы каким-то образом свести к минимуму потенциальную опасность из-за функциональных ошибок, все равно будет невозможно воспроизвести по желанию разнообразные условия сдвига ветра. Следовательно, нет никаких сомнений в том, что отработка действий по противодействию сдвигу ветра на малых высотах в ходе летной подготовки неосуществима и для эффективной подготовки летных экипажей необходим специальный пилотажный тренажер. Другой фактор, который следует иметь в виду, заключается в том, что рекомендуемая техника пилотирования для восстановления нормального положения при встрече со сдвигом ветра является контринтуитивной, поскольку от пилота ожидаются действия по увеличению угла тангажа, если необходимо, до 15° (принимая при этом во внимание сигналы автомата тряски), даже если воздушная скорость быстро уменьшается. Более того, пилот не может знать о том, что угол атаки, возможно, тоже уменьшился в условиях сильных вертикальных нисходящих потоков. Лишь регулярная тренажерная подготовка способна выработать у пилота необходимую инстинктивную реакцию, позволяющую незамедлительно применить методы восстановления нормального положения с уверенностью, что эти приемы являются наиболее оптимальными для максимизации энергии, располагаемой воздушным судном при встрече со сдвигом ветра. Поскольку возможность обучения на тренажере, как правило, не предоставляется тем летным экипажам, которые не входят в состав какой-либо авиакомпании, для них тем более важно уметь распознавать условия, связанные с потенциальной возможностью появления сдвига ветра, и предпринимать все меры, чтобы избежать встречи с ними.

6.4.3 Необходимо, чтобы изготовители воздушных судов и эксплуатанты сотрудничали друг с другом при разработке методик и порядка действий применительно к конкретным типам воздушных судов и имеющемуся бортовому оборудованию и чтобы этот порядок действий был подробно описан в руководствах эксплуатантов по производству полетов. Программа летной подготовки должна разрабатываться таким образом, чтобы пилоты усваивали различные технические приемы, разработанные и рекомендованные изготовителями и эксплуатантами в целях распознавания сдвига ветра и нейтрализации его воздействия при сохранении или восстановлении способности безопасно управлять воздушным судном. При наличии возможности обучение следует проводить на тренажере, соответствующем типу воздушного судна, и имеющем необходимое математическое обеспечение для воспроизводства моделей реалистического сдвига ветра. В распоряжении изготовителей тренажеров имеются реалистические трехмерные модели конвективного сдвига ветра (нисходящие порывы/микрорывы), разработанные на основе воспроизведенных данных, взятых из авиационных происшествий, и моделей поля ветра. Эксплуатанты должны следить за тем, чтобы такие модули были включены в технические требования к любой тренажерной системе, которую они устанавливают. Таким образом, какие-либо причины, по которым пилоты реактивных транспортных воздушных судов не проходили бы регулярной тренажерной подготовки, включающую встречи с этими опасными явлениями, отсутствуют. В *Руководстве по критериям квалификационной оценки пилотажных тренажеров* (Дос 9625) содержится подробная информация и инструктивный материал, касающиеся предъявляемых к моделированию требований, а также апробирования и функциональных испытаний тренажера в условиях сдвига ветра.

6.4.4 В рамках плана ФАУ по усовершенствованию тренажерного моделирования разработаны инструктивные указания в отношении методики подготовки летных экипажей на усовершенствованных пилотажных тренажерах (см. Федеральные правила полета, часть 121, добавление 10). На этапе II этого трехэтапного плана, согласно установленному требованию, модели должны включать "репрезентативный боковой ветер и динамику сдвига ветра в трех измерениях на основании данных, относящихся к тому или иному самолету". Такие трехмерные модели позволяют воспроизводить условия быстро меняющегося встречного и бокового ветра и нисходящих потоков воздуха при грозных нисходящих порывах/микрорывах как на номинальной траектории полета, так и вне ее.^{2,3} Как упоминается в главе 4, включение в модель вертикальной составляющей (нисходящего потока)

имеет жизненно важное значение для тех случаев, когда летному экипажу нужно отработать технику пилотирования в условиях, при которых угол атаки уже не соответствует положению по тангажу воздушной скорости; в целом такая ситуация полностью выходит за пределы опыта летных экипажей. Репрезентативные профили ветра включены в консультативный циркуляр Соединенных Штатов Америки АС 120-41 "Критерии допуска к эксплуатации бортовых систем обеспечения предупреждений о сдвиге ветра и указаний о действиях в полете" (см. п. 5.2.12).

6.4.5 Многие эксплуатанты осуществляют обучение на тренажерах с использованием полных трехмерных моделей сдвига ветра, где моделирование точки данных о ветре определены для диапазона тех профилей и траекторий полета, которые могут использоваться при маневрировании воздушного судна, а также в результате различных действий пилота по восстановлению нормального положения. Одна из таких тренировочных систем включает трехмерную модель микропорыва, полученную по данным проекта JAWS, которая может быть запрограммирована таким образом, чтобы центр микропорыва находился на траектории полета или в стороне от нее. Эта конкретная модель была разработана RAE в Соединенном Королевстве; пример использования модели микропорыва показан на рис. 3-16 а).^{4,5} Другая система моделирует три составляющие ветра в пространстве и времени, турбулентность, температуру, давление, осадки (переменной частоты), видимость и в довершение реалистичности все это сопровождается визуальными и звуковыми эффектами, а также отображением выходных сигналов на экране типовой бортовой метеорологической РЛС.⁶

6.4.6 Рекомендуемые действия в условиях сдвига ветра обычно содержатся в руководстве по летной эксплуатации, предоставляемом изготовителями по каждому типу воздушного судна, а также в руководствах по производству полетов, имеющихся у эксплуатантов. Другими источниками информации являются консультативные циркуляры (такие, как FAA АС 00-54 (1988), п. 7), издаваемые время от времени полномочными органами государств. Правила в отношении порядка действий, рекомендуемого изготовителями, рассматриваются в главе 4, а дополнительные правила в отношении порядка действий при неблагоприятных условиях погоды, рекомендуемые для самолета "Боинг-737", приведены в качестве примера в добавлении 10. Хотя все правила основаны на одних и тех же аэродинамических принципах, при каждой комбинации "тип воздушного судна/двигатель" можно ожидать несколько отличную реакцию на сдвиг ветра, и в зависимости от практики каждого эксплуатанта в отношении оборудования, кабина экипажа может быть по-разному оснащена приборами и оборудованием.

6.5 КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА ФАУ ПО СДВИГУ ВЕТРА (ПОДГОТОВКА ПЕРСОНАЛА)

В авиационных кругах проявлялась озабоченность в отношении того, что наличие множества различных программ подготовки по вопросам сдвига ветра может отрицательно сказаться на продуктивности обучения и внести путаницу среди эксплуатационного персонала. Как указывалось ранее, учебная программа ФАУ была разработана в 1987 г. при участии изготовителей воздушных судов и эксплуатантов ее цель заключалась в подготовке окончательного варианта "учебного пособия по сдвигу ветра", которое включало бы выдаваемые пилотам материалы, образец программы подготовки по вопросам сдвига ветра, обзор организационных принципов, и все это на основании документально подтвержденных данных. В дополнение к письменному материалу значительное внимание было уделено изготовлению наглядных учебных пособий.

6.6 ПОДГОТОВКА ПЕРСОНАЛА СЛУЖБЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

6.6.1 Диспетчер управления воздушным движением (УВД), как правило, является исключительно важным связующим звеном между метеорологом и пилотом и между самими пилотами в от-

ношении сообщений о сдвиге ветра. Это обуславливает создание программы подготовки для всех диспетчеров. Главное внимание следует уделять тем диспетчерам, которые обеспечивают управление движением на аэродроме и в зоне подхода, поскольку наиболее критическими этапами полета с точки зрения встречи со сдвигом ветра на малых высотах являются взлет, заход на посадку и посадка.

6.6.2 В разработке соответствующей учебной программы подготовки диспетчеров УВД может оказать помощь *Руководство по обучению*, часть F-1 *"Метеорологическое обеспечение диспетчеров воздушного движения и пилотов"* (Дос 7192). В частности, раздел 3.4 этого документа ("Связь между ветром и давлением") требует знание определения сдвига ветра. Кроме того, в соответствии с п. 3.10.2 необходимо изучить сдвиг ветра, связанный с грозами (включая фронты порывов, а также сухие и влажные микропорывы), и влияние этих явлений на полеты воздушных судов. Рекомендуемый уровень необходимых знаний характеризуется как "... знание предмета и способность применять в соответствующих случаях это знание на практике с помощью справочных материалов и инструкций".

6.6.3 Целями программы подготовки диспетчеров УВД по вопросам, касающимся сдвига ветра, должны быть следующие:

- a) добиться понимания сдвига ветра и возможных его воздействий на летные характеристики воздушного судна;
- b) оказать помощь в приобретении умения определять условия, в которых может происходить сдвиг ветра;
- c) ознакомить с правилами передачи сообщений о сдвиге ветра и отработать применение этих правил на практике (см. раздел 6.8).

6.6.4 Подпункты a) и b) п. 6.6.3 охватывают преимущественно ту же область, которая включена в программу наземной подготовки летных экипажей, упомянутую в разделе 6.3. В силу этого имеющиеся материалы для подготовки летных экипажей могут использоваться и в целях подготовки диспетчеров. Кроме того, было бы полезно предоставлять иногда диспетчеру УВД возможность присутствовать в качестве наблюдателя при учебных упражнениях членов летного экипажа на пилотажном тренажере, когда отрабатывается порядок действий в условиях сдвига ветра.

6.7 ПОДГОТОВКА МЕТЕОРОЛОГОВ

6.7.1 В соответствии с рабочим соглашением, достигнутым между ИКАО и ВМО, "в то время как ВМО будет нести ответственность за определение требований к специальным знаниям метеорологов, обеспечивающих метеорологическое обслуживание международной гражданской авиации, определение требований к знаниям неметеорологического характера, которыми так же следует владеть таким специалистам, будет возложено на ИКАО и предложения в отношении этих требований будут передаваться в ВМО в форме рекомендаций" (см. Дос 7475). Как следствие вышеуказанной договоренности, инструктивные указания по обучению и практической подготовке авиационных метеорологов были разработаны и включены в издание ВМО № 258 (главы 4 и 5) и в документ ВМО/ТД № 1101 (глава 3.3).

6.7.2 В вышеупомянутых изданиях ВМО по вопросам обучения подробно представлены рекомендуемые программы специализации в области авиационной метеорологии для метеорологов ВІР-М1 и техников-метеорологов ВІР-МТ. Программы подготовки метеорологов ВІР-М1 в отношении приобретения знаний в области авиационной метеорологии содержат конкретную ссылку на сдвиг

ветра как конвективного характера (при грозах), так и неконвективного характера, и на его воздействие на воздушные суда на этапах захода на посадку и посадки. Что касается требуемого уровня знаний авиационной метеорологии, уровень или качество подготовки должны быть такими же, как и для получения свидетельств пилота. Обучение метеорологов ВІР-М1 должно включать также обширную область подготовки по вопросам общего прогнозирования, охватывающую прогнозирование тех особых явлений погоды, которые, насколько известно, способны привести к сдвигу ветра на малых высотах (струйные течения на малых высотах, температурные инверсии, береговые и морские бризы, фронты воздушной массы, грозы и особенно сильные грозы и т. д.). Учебная подготовка должна также охватывать такие эксплуатационные аспекты, как кодирование и расшифровка предупреждений и оповещений о сдвиге ветра и их рассылка.

6.7.3 Для техников-метеорологов ВІР-МТ рекомендуемый уровень знаний авиационной метеорологии ниже, чем для метеорологов ВІР-М1, и в рекомендуемой для них программе специализации лишь упоминаются области сдвига ветра в главе 4.3 документа ВМО № 258. Однако, в п. 4.2 d) “Циркуляция атмосферного воздуха; геострофическое течение” издания ВМО по вопросам обучения⁷ в программу рекомендуется включить общую информацию о сдвиге ветра и явлениях, порождающих его.

6.7.4 ВМО также опубликовала компендиум лекционных конспектов для подготовки метеорологов всех классов (ВМО-№ 364, том II). Часть 2 этого издания посвящена курсу авиационной метеорологии для метеорологов и техников-метеорологов. В соответствующих местах данного издания рассматриваются вопросы о сдвиге ветра на малых высотах.

6.8 АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ ПО ВОПРОСАМ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ О СДВИГЕ ВЕТРА

После успешной разработки рабочего оборудования дистанционного обнаружения сдвига ветра самым важным шагом к решению проблемы сдвига ветра, который мог бы быть сделан, является введение государствами стандартной терминологии и правил передачи сообщений о сдвиге ветра. Включение в соответствующие учебные программы правил передачи сообщений и терминов на основе тех, которые приводятся в настоящем Руководстве, явилось бы большим шагом в деле обеспечения всемирной стандартизации. Это включает форматы представления сообщений как для аэродромов, оборудованных системами TDWR и/или LLWAS, так и для аэродромов, которые не оснащены такими системами, но подвержены сдвигам ветра.

6.9 РЕЗЮМЕ

6.9.1 Сдвиг ветра существовал всегда, хотя мы его не всегда замечали. После целого ряда авиационных происшествий с человеческими жертвами его потенциально смертельный характер стал более очевидным. В то же время объем наших знаний о воздействии сдвига ветра возрос, и имеющиеся в нашем распоряжении средства для его прогнозирования и противодействия ему стали более совершенными. Делом первоочередной важности для обеспечения безопасности полетов является учебная подготовка, и для всех эксплуатантов крайне необходима действенная программа обучения персонала по всем аспектам сдвига ветра. Всегда следует иметь в виду, что из-за внутренне присущему сдвигу ветра своенравному характеру при подготовке персонала необходимо подчеркивать, чтобы пилоты сохраняли бдительность, особенно при полетах вблизи гроз или в других районах, где прогнозируется сдвиг ветра.

6.9.2 Из всего объема и накопленных до настоящего времени знаний и опыта выявляются следующие ключевые факторы, которые пилоты особенно должны иметь в виду:

- a) следует избегать районов, в которых, как известно, присутствует сдвиг ветра;
- b) необходимо оценивать состояние погоды и окружающие условия;
- c) следует применять и соблюдать стандартные эксплуатационные правила (СЭП);
- d) требуется проявлять бдительность и принимать необходимые меры предосторожности при появлении высокой вероятности сдвига ветра;
- e) при непреднамеренной встрече со сдвигом ветра следует без колебаний предпринимать действия по восстановлению нормального положения;
- f) при возникновении сомнений следует отложить взлет или при указании на присутствие сдвига ветра следует без колебаний начать уход на второй круг или перевести полет на режим ожидания, пока не улучшатся условия. В качестве последней меры следует уйти на запасной аэродром.

Справочные материалы

1. United States Federal Aviation Administration, 1987: FAA Wind Shear Training Aid, Volumes 1 and 2.
 2. Campbell, 1983: A conceptual framework for using Doppler radar — Acquired atmospheric data for flight simulation, NASA Technical Paper No. 2192.
 3. Frost, et al., 1985: Microburst wind shear models from the JAWS project, United States Department of Transport, Report No. DOT/FAA-PM — 85/18.
 4. Hopkins, 1984: Microburst explored, *Flight International*, London.
 5. Hopkins, 1985: Wind shear escape, *Flight International*, London.
 6. Klehr, 1986: Wind shear simulation enters the fourth dimension, *ICAO Bulletin*.
 7. World Meteorological Organization, 2002: *Guidelines for the education and training of personnel in meteorology and operational hydrology*, WMO Publication No. 258, Volume I, Fourth Edition.
-

Добавление 1

ПЕРЕЧЕНЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТРЕБОВАНИЙ

(См. Предисловие)

1. ИНФОРМАЦИЯ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМАЯ ПИЛОТУ

1.1 Имеется эксплуатационное требование в отношении предоставления пилоту информации о сдвиге ветра и турбулентности на малых высотах (возникающих по любой причине) таким образом, чтобы позволить пилоту противодействовать их влиянию и сохранять безопасное управление воздушным судном.

1.2 До завершения дальнейших разработок надежного в эксплуатации бортового и наземного оборудования за основу такая информация должна основываться на донесениях с борта воздушных судов и/или результатах наземных метеорологических наблюдений или на оценке текущей метеорологической обстановки.

2. НАЗЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Имеется эксплуатационное требование в отношении обеспечения наземного оборудования для получения следующей информации, которая предоставляется пилоту перед взлетом или начальным этапом захода на посадку:

- a) значительные изменения приземного ветра вдоль ВПП;
- b) значительные изменения ветра вдоль траекторий взлета и конечного этапа захода на посадку до высоты 500 м (1600 фут) над уровнем ВПП, особенно в слое между уровнем ВПП и относительной высотой 150 м (500 фут).

Примечание. Высоту 500 м (1600 фут) не следует считать пределом там, где местные условия требуют увеличения этой высоты.

3. БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Имеется эксплуатационное требование в отношении обеспечения бортового оборудования, которое способно обнаруживать присутствие значительного сдвига ветра и турбулентности на малых высотах, возникающих по любой причине и может:

- a) обеспечивать пилота своевременным предупреждением и информацией, необходимыми для безопасного выдерживания заданной траектории полета, или указаниями по действиям для избежания встречи с ними;

- b) сигнализировать о близости достижения предельных значений, установленных при сертификации оборудования автоматической посадки.

4. УЧЕБНАЯ ПОДГОТОВКА

Имеется эксплуатационное требование в отношении обучения пилотов приемам оказания противодействия влиянию сдвига ветра и турбулентности на малых высотах. Следует представлять всю относящуюся к данному вопросу информацию вместе с рекомендациями в отношении техники пилотирования, данными о профиле полета и летных характеристиках применительно к конкретному типу воздушного судна.

Добавление 2

РЕКОМЕНДАЦИИ КОМИТЕТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СДВИГА ВЕТРА НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ И ЕГО ОПАСНОСТИ ДЛЯ АВИАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК СОЕДИНЕННЫХ ШТАТОВ АМЕРИКИ (1983 г.)

(См. пп. 3.9.2 и 3.9.3)

Примечание. Нижеизложенный текст воспроизводится с разрешения Комитета Национальной академии наук Соединенных Штатов Америки.

Рекомендации Комитета Национальной академии наук^а распределены по четырем широким категориям: общие положения, обнаружение и предсказание, летные характеристики воздушных судов и производство полетов, научные исследования. Порядок нумерации рекомендаций не означает какого-либо порядка очередности. Широкий спектр конкретных рекомендаций отражает сложность проблем, связанных со сдвигом ветра на малых высотах.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Потребность в комплексной программе по сдвигу ветра

1.1 В целях обеспечения безопасности авиапассажиров и экипажей воздушных судов, ФАУ и авиационным кругам следует обратить внимание на многие стороны проблемы в целом, относящейся к сдвигу ветра на малых высотах. ФАУ следует разработать и внедрить последовательную и постоянно действующую программу, которая бы охватывала учебные, метеорологические, технические и эксплуатационные аспекты, касающиеся опасности сдвига ветра на малых высотах.

Программа учебной подготовки по вопросам сдвига ветра

1.2 ФАУ и авиационным кругам следует подготовить и распространить как можно шире обновленную и заслуживающую доверия информацию по сдвигу ветра. В информационных материалах следует подчеркивать необходимость уклонения от встреч со сдвигом ветра и давать описание методики управления полетом для восстановления нормального положения при встрече со сдвигом ветра. Эта информация должна охватывать воздушные суда всех типов с соответствующими инструктивными указаниями в отношении конкретного класса. В нее следует включать рекомендации о наиболее эффективных средствах подготовки пилотов.

а. Хотя можно с удовлетворением отметить, что к моменту опубликования настоящего Руководства многие из рекомендаций Комитета уже выполнены, тем не менее они воспроизводятся здесь дословно для того, чтобы проиллюстрировать проблемы, с которыми пришлось столкнуться в вопросах сдвига ветра за последние два десятилетия.

1.3 ФАУ следует пересмотреть и обновить консультативный циркуляр по сдвигу ветра (АС 00-50А), изданный в 1979 г., и *Руководство по информации для авиаторов (AIM)*, чтобы в них была представлена самая последняя информация, включающая методику обнаружения сдвига ветра, правила оповещения и предупреждения об этом явлении, факты о его воздействии на летные характеристики воздушных судов и порядок действий для восстановления нормального положения при встречах со сдвигом ветра.

Связь между пилотом и диспетчером

1.4 ФАУ следует содействовать применению стандартной терминологии и усовершенствованию связи между летными экипажами и аэродромными диспетчерскими пунктами. Следует разработать стандартную систему донесений пилотов (PIREP), для сообщения о встречах со сдвигом ветра на малых высотах. Донесения PIREP должны быть обязательными и включать сообщение о местоположении, интенсивности и характере происходящего сдвига ветра с использованием соответствующей стандартной терминологии. Диспетчерам следует передавать такие сообщения всем находящимся поблизости летным экипажам. Кроме того, следует изучать вопросы методики использования прямого радиовещательного канала для передачи пилотам данных о сдвиге ветра, поступающих от системы оповещения о сдвиге ветра на малых высотах (LLWSAS) или от других датчиков.

Разработка системы обнаружения сдвига ветра

1.5 ФАУ следует выбрать место для проведения испытаний техники непосредственного и дистанционного обнаружения в комплексной системе обнаружения сдвига ветра на малых высотах и обеспечения информацией пилотов и диспетчеров, а также для проверки использования этой информации в системе управления воздушным движением. Местом таких испытаний должен стать крупный аэропорт, где относительно часты условия сдвига ветра.

2. ОБНАРУЖЕНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Система оповещения о сдвиге ветра на малых высотах (LLWSAS)

2.1 LLWSAS является в настоящее время единственной системой, которая может использоваться для обнаружения сдвига ветра на малых высотах на эксплуатационной основе, и следует приложить все усилия для оценки и усовершенствования ее характеристик. Возможности в этом отношении включают (но не ограничиваются этими аспектами), улучшенную обработку сигнала, сокращение интервалов между увеличенным, числом датчиков, повышение характеристик чувствительности датчиков, усовершенствование техники отображения данных о ветре и уточнение критериев выпуска оповещений о сдвиге ветра, а также потенциальное использование наземных датчиков давления с целью расширения информации, обеспечиваемой LLWSAS. Разрабатывается усовершенствованный вариант системы LLWSAS для установки в международном аэропорту Нового Орлеана. Эта система с расширенными возможностями, эксплуатационные испытания которой были намечены на начало 1984 г., призвана заложить основу для модификации существующих в настоящее время установок LLWSAS и для улучшения системных характеристик будущих установок. В зависимости от результатов испытаний в Новом Орлеане, ФАУ следует модифицировать существующие установки системы LLWSAS и оборудовать усовершенствованными установками все аэропорты с высокой плотностью воздушного движения, оснащенные автоматизированными системами узловых диспетчерских районов (153 аэропорта), в которых имеется вероятность появления опасного сдвига ветра.

Регистрация и анализ данных LLWSAS

2.2 Результаты измерений ветра системой LLWSAS следует регистрировать и анализировать с тем, чтобы оценить функциональные характеристики системы и лучше изучить климатические свойства сдвига ветра на малых высотах. Это следует делать во всех аэропортах, оснащенных системой LLWSAS.

Использование имеющихся радиолокационных данных

2.3 Следует более эффективно использовать существующую сеть метеорологических РЛС, находящуюся в ведении Национальной службы погоды (NWS), с тем чтобы можно было судить о вероятности появления условий сдвига ветра. Эти РЛС обнаруживают ливни, грозы и явления, часто связанные со сдвигом ветра. Следует доводить информацию от метеорологических РЛС до сведения диспетчеров управления воздушным движением своевременно и в легко доступной форме.

Метеорологическая РЛС следующего поколения (NEXRAD)

2.4 Следует осуществить скорейшую разработку и внедрение доплеровской радиолокационной метеорологической системы следующего поколения (NEXRAD). Эта радиолокационная система дальнего действия послужит делу удовлетворения многих национальных потребностей, относящихся к области обнаружения, прогнозирования неблагоприятных явлений погоды и предупреждения их возникновения. В применении к авиации система NEXRAD может использоваться для определения метеообстановки и слежения за ней по маршруту полета и – при расположении в пределах или вблизи некоторых аэропортов – для обнаружения сдвига ветра на малых высотах или его предвестников. Кроме того, доплеровская РЛС ускорит темпы разработки радиолокационной методики обнаружения сдвига ветра на малых высотах и темпы разработки доплеровских РЛС, специально предназначенных для узловых диспетчерских районов.

Метеорологическая РЛС для узловых диспетчерских районов

2.5 ФАУ следует предпринять немедленные действия в направлении разработки системы импульсной доплеровской РЛС, которая может использоваться для наблюдения за условиями погоды в узловых диспетчерских районах аэропортов. Эта аэродромная радиолокационная система должна быть способна работать с высокой степенью автоматизации и обеспечивать информацию об интенсивности сдвига ветра, турбулентности и дождевых осадков на малых высотах. Такая РЛС должна быть способна выдавать информацию, обновляемую ежеминутно, и должна обладать такими свойствами, как подавление мешающих отражений и необходимая пространственная разрешающая способность.

Использование результатов наблюдения аэродромной метеорологической РЛС

2.6 Чтобы максимально использовать аэродромную доплеровскую РЛС для нужд диспетчеров управления воздушным движением и пилотов, следует предпринять совместные усилия для разработки правил последовательности действий при анализе, отображении и использовании результатов производимых с ее помощью наблюдений.

Бортовые датчики дистанционного обнаружения

2.7 Следует продолжить научные исследования в области использования бортовых доплеровских лидаров и микроволновых доплеровских РЛС в качестве средств обнаружения сдвига ветра на малых высотах.

3. ЛЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И ПРОИЗВОДСТВО ПОЛЕТОВ

Влияние сдвига ветра на летные характеристики

3.1 ФАУ следует организовать проведение под своей эгидой исследований на основе анализа и моделирования для определения:

- a) возможностей транспортных воздушных судов в отношении восстановления нормального положения при попадании в условия сдвига ветра, обеспечиваемых использованием различных бортовых систем обнаружения, наведения и управления, и
- b) влияния сдвига ветра на воздушные суда авиации общего назначения и вертолеты различных типовых категорий, с тем чтобы получить заслуживающую доверия информацию о характеристиках их реакции и технике пилотирования в условиях сдвига ветра.

Правила летной эксплуатации воздушных судов

3.2 ФАУ следует принять меры к тому, чтобы воздушные перевозчики и другие коммерческие эксплуатанты инструктировали летные экипажи в отношении того, что они должны делать в случае непреднамеренной встречи со сдвигом ветра на малых высотах при взлете или посадке. Кроме того, ФАУ следует поощрять включение эксплуатантами реактивных воздушных судов в свои руководства правил эксплуатации, рекомендованных в его консультативном циркуляре по сдвигу ветра. Изготовители воздушных судов должны давать рекомендации в отношении последовательности действий при изменении конфигурации (шасси, закрылки, тяга, интерцепторы и т. д.), обеспечивающей максимальную вероятность восстановления нормального положения при встрече со сдвигом ветра. Пилотов следует учить тому, как следует превышать нормальные пределы максимальной тяги и переходить на использование полного аварийного запаса тяги, когда это необходимо.

Вспомогательные средства наведения и управления

3.3 Следует систематически проводить оценку бортовых датчиков и средств наведения, чтобы определять их достоинства с точки зрения их будущей доработки и возможной модификации на существующих воздушных судах. К ним относятся различные варианты командно-пилотажного прибора, системы оптимизации полета по путевой/воздушной скорости, датчики вертикального ускорения и датчики темпа изменения энергии. В приборное оборудование кабины экипажа транспортных воздушных судов следует дополнительно ввести указатели угла атаки для использования при эволюциях во время прохождения через сдвиг ветра. Угол атаки следует отображать либо как отдельный переменный параметр, либо как параметр ввода в другие командные средства индикации. Датчики должны обеспечивать летные экипажи речевым предупреждением об опасном сдвиге ветра.

Стандартизация моделей сдвига ветра

3.4 ФАУ следует организовать осуществление программы по разработке и определению стандартных моделей сдвига ветра, основывающихся на самой свежей метеорологической информации. Эти модели необходимы для проектирования и сертификации бортовых подсистем и для

использования в тренажерах. ФАУ следует привлечь к осуществлению программы другие правительственные учреждения, изготовителей воздушных судов, коммерческих эксплуатантов и другие заинтересованные организации.

Сертификация бортовых систем

3.5 ФАУ следует обновить свои требования в отношении сертификации бортовых систем оповещения о сдвиге ветра, наведения в полете и автоматического управления.

Тренажерная подготовка с помощью имитаторов сдвига ветра

3.6 ФАУ и авиационным специалистам следует совместно изучить новые и новаторские пути обеспечения наилучших возможностей обучения с помощью средств имитации сдвига ветра как можно большего числа пилотов, включая пилотов авиации общего назначения.

4. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Влияние сильного дождя

4.1 Следует продолжить изучение вопроса о влиянии сильного дождя на аэродинамические характеристики воздушных судов на малой скорости. Особое внимание следует уделить возможному неблагоприятному влиянию сильного дождя на подъемную силу, летные характеристики и управляемость воздушного судна, включая его влияние на системы обнаружения сдвига ветра и датчики систем управления полетом.

Исследование характера сдвига ветра на малых высотах

4.2 Необходимо больше знать о различных видах сдвига ветра и метеорологических условиях, которые вызывают его или связаны с ним. Этот объем знаний необходим, чтобы снизить уровень опасности, исходящей от сдвига ветра на малых высотах. Исследования должны включать дополнительные полевые наблюдения и построение теоретических моделей в пределах соответствующих масштабов – приблизительно от 1000 футов до 10–20 миль и от минут до часов.

4.3 Имеющийся объем данных, полученных в результате осуществления различных исследовательских программ, следует в надлежащее время пересматривать и расширять путем осуществления программы полевых наблюдений в районах с влажным климатом на юго-востоке Соединенных Штатов Америки. Результаты анализа данных, полученных при осуществлении проекта JAWS, следует использовать при планировании любых будущих полевых исследований. Фундаментальные исследования в области происхождения сильных нисходящих потоков воздуха при грозах и возможных методов прогнозирования должны стать важной составной частью любой новой программы.

Добавление 3

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СДВИГА ВЕТРА НА ПОДЪЕМНУЮ СИЛУ

Примечание. Нижеизложенный текст^а воспроизводится с разрешения д-ра Т.Т. Фудзиты. Нумерация таблицы и рисунков изменена ИКАО для целей их использования в настоящем добавлении.

Поток воздуха, влияющий на полеты воздушных судов, грубо подразделяется на "турбулентность" и "сдвиг ветра". Эволюции воздушного судна в турбулентном потоке характеризуются непоследовательностью и непредсказуемостью, с сохранением однако в той или иной степени заданной траектории полета. Сдвиг ветра же, будь то при наличии турбулентности или в отсутствие ее, изменяет действующую на воздушное судно подъемную силу, что вызывает эволюции, приводящие к либо значительной потере, либо значительному набору высоты.

Метеорологически сдвиг ветра определяется как местное изменение скорости ветра в конкретном направлении. Три составляющих сдвига ветра можно описать путем выражения скорости ветра W как:

$$W = iu + jv + kw, \quad (1)$$

где i, j, k – единичные векторы, действующие в направлениях x, y, z ;
 u, v, w – составляющие ветра по x, y, z .

В авиации сдвиг ветра представляет изменение скорости ветра во времени вдоль траектории полета конкретного воздушного судна, что может быть записано как:

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = G \frac{\partial W}{\partial L} + \frac{\partial W}{\partial t}, \quad (2)$$

где L – расстояние, измеренное вдоль траектории полета. Второй член в правой части этой формулы обозначает местное изменение ветра, вызываемое формированием или развитием системы ветра, в которую попадает воздушное судно. То есть, второго члена может и не быть до момента попадания в систему воздушного судна. В то же время первый член обозначает изменение ветра в момент входа воздушного судна в существующую систему сдвига ветра.

С учетом того, что траектория полета включена в вид в плане ($x - z$) на рис. А3-1, определяем сдвиг трех составляющих ветра u, v, w следующим образом:

$$\frac{\Delta u}{\Delta t} = \text{сдвиг встречного ветра} + \text{встречный ветер}; \quad \text{— попутный ветер}; \quad (3)$$

а. Отрывок из книги д-ра Фудзиты "Нисходящий порыв"¹, опубликованной в рамках Проекта спутниковых и мезометеорологических исследований (SMRR), проводимого в отделении геофизических наук Чикагского университета.

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{сдвиг бокового ветра + справа; — слева;} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta w}{\Delta t} = \text{сдвиг вертикального ветра + вверх; – вниз.} \quad (5)$$

Воздействие сдвига ветра на подъемную силу

Воздушное судно, летящее с истинной воздушной скоростью A внутри трехмерного ветра W , движется со скоростью G относительно земли. Подъемная сила, действующая на воздушное судно, перпендикулярна вектору A , а аэродинамическое сопротивление направлено противоположно вектору A . Используя символы на рис. АЗ-1, можно выразить подъемную силу следующим образом:

$$F = \frac{1}{2} \rho A^2 C_L S, \quad (6)$$

где ρ – плотность воздуха;

C_L – коэффициент подъемной силы;

S – площадь поперечного разреза подъемной силы, действующей на воздушное судно.

Поскольку значение β мало, а θ и G не столь быстро изменяются во времени, как ветер, мы можем приближенно определить значение путевой скорости и угла атаки:

$$G \cong A + u \text{ или } 0 = \frac{\Delta A}{\Delta u} + 1; \quad (7)$$

$$\alpha = \theta - \gamma + \frac{w}{G} \text{ или } \frac{\partial \alpha}{\partial w} = 0 - 0 + \frac{1}{G}. \quad (8)$$

Приращение подъемной силы из-за изменения u и w вычисляется путем дифференцирования уравнения 6:

$$\Delta F_L = \frac{1}{2} \rho C_L A^2 S \left(\frac{2}{A} \frac{\partial A}{\partial u} \Delta u + \frac{1}{C_L} \frac{\partial C_L}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial w} \Delta w \right). \quad (9)$$

Используя уравнения 7 и 8, упрощаем уравнение 9:

$$\frac{\Delta F_L}{F_L} = -\frac{2}{A} \Delta u + \frac{k}{G} \Delta w, \quad (10)$$

$$\text{где } k = \frac{1}{C_L} \frac{\partial C_L}{\partial \alpha} \text{ (радианы)} = \frac{180}{\pi C_L} \frac{\partial C_L}{\partial \alpha} \text{ (градусы)} \quad (11)$$

определяется характеристиками коэффициента подъемной силы при попадании в условия сдвига ветра. Данное уравнение показывает, что падение подъемной силы происходит не только из-за потери воздушной скорости, но также из-за уменьшения угла атаки, что в свою очередь приводит к уменьшению коэффициента подъемной силы.

Таблица А3-1. Парциальное падение подъемной силы (в %) при последовательном увеличении скорости попутного ветра на один узел или при увеличении на один узел скорости нисходящего потока. Для простоты принимается, что $A = G = 150$ уз

	Угол атаки				
	0°	5°	10°	15°	20°
Падение подъемной силы из-за попутного ветра	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3% на узел
Падение подъемной силы из-за нисходящего потока	13,2	4,5	2,5	1,3	0,5% на узел

На рис. А3-2. показана репрезентативная кривая коэффициента подъемной силы воздушного судна со стреловидным крылом во взлетной конфигурации с выпущенными закрылками. Значения в таблице А3-1, вычисленные из рисунка, показывают, что падение подъемной силы при попутном ветре является постоянным независимо от угла атаки, при котором выполняется полет воздушного судна. С другой стороны, с уменьшением угла атаки подъемная сила падает более ощутимо. Уравнение 10 дает основание предположить, что уменьшение угла тангажа, выбранного с целью увеличения воздушной скорости в условиях сдвига попутного ветра/нисходящего потока, может приводить к падению подъемной силы с последующей резкой потерей высоты.

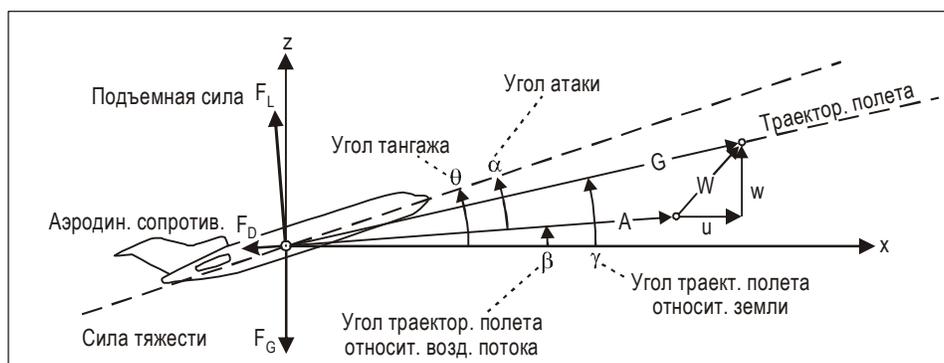


Рис. А3-1. Обозначение параметров, использованных в настоящей главе F_L – подъемная сила; F_G – сила тяжести; F_D – аэродинамическое сопротивление; α – угол атаки; β – угол траектории полета относительно воздушного потока; γ – угол траектории полета относительно земли; θ – угол тангажа; W – вектор ветра, u, v, w составляющие вектора ветра по x, y, z ; A – истинная воздушная скорость и G – путевая скорость

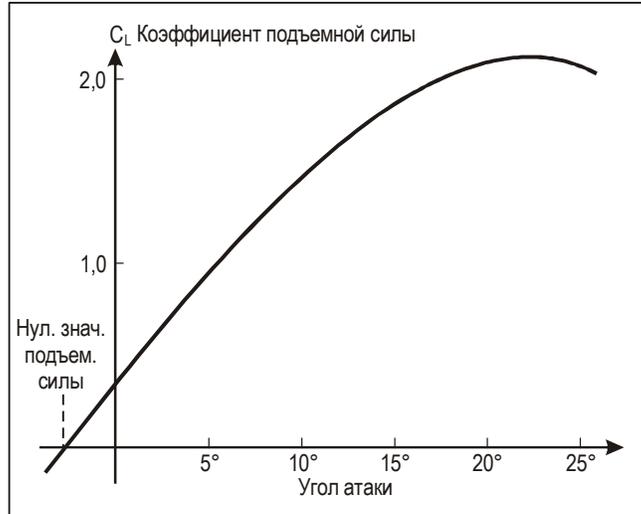


Рис. А3-2. Коэффициент подъемной силы воздушного судна со стреловидным крылом при отклоненных на 15° закрылках и убранном шасси. Угол атаки берется по отношению к фюзеляжу. Угол атаки по отношению к крылу приблизительно на 2° больше, чем угол атаки по отношению к фюзеляжу

Добавление 4

СИСТЕМА ОПОВЕЩЕНИЯ О СДВИГЕ ВЕТРА И ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ГОНКОНГЕ (КИТАЙ)

(См. п. 5.1.44)

Примечание. Нижеизложенный текст воспроизводится с разрешения Гонконгской обсерватории (Гонконг, Китай). Нумерация рисунков изменена ИКАО для целей их использования в настоящем добавлении.

1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1.1 Гонконгская обсерватория (НКО) является назначенным метеорологическим полномочным органом в Гонконге (Китай), ответственным за метеорологическое обслуживание авиации в Гонконгском международном аэропорту (НКIA) в Чек Лапкоке. Она выдает предупреждения о сдвиге ветра (при изменении скорости встречного или попутного ветра на 15 уз или более) и турбулентности (в случае умеренной или сильной турбулентности).

1.2 В географическом плане аэропорт НКIA был построен на осушенном участке земли, расположенном к северу от достаточно гористого острова Лантау с вершинами холмов, достигающими 1000 м, и с долинами между ними, опускающимися до 400 м. На рис. А4-1 показана местность данного острова и расположение аэропорта НКIA относительно этой местности. К северо-востоку от НКIA находится целый ряд более мелких холмов, чьи вершины достигают 400-600 м. В прибрежных и холмистых условиях сдвиг ветра и турбулентность в районе НКIA могут быть вызваны целым рядом метеорологических явлений:

- a) ветры, дующие через холмистую местность, т. е. обусловленные местностью (рис. А4-2);
- b) микропорыв и фронт порыва, т. е. обусловленный грозой (рис. А4-3 и А4-4);
- c) конвергенция морского бриза с фоновыми ветрами (рис. А4-5);
- d) струйное течение на малых высотах (рис. А4-6).

2. СИСТЕМА ОПОВЕЩЕНИЯ О СДВИГЕ ВЕТРА И ТУРБУЛЕНТНОСТИ

2.1 Метеорологические датчики для мониторинга сдвига ветра и турбулентности в аэропорту и окрестностях НКIA включают следующее:

- a) аэродромный доплеровский метеорадиолокатор (TDWR), установленный в стратегической точке примерно в 12 км северо-восточнее аэропорта (рис. А4-7);

- b) сеть анемометров на поверхности, в долинах и на вершинах холмов;
- c) пять метеорологических буев (рис. А4-8) на водной поверхности на расстоянии примерно от 1 до 2 м. миль от порогов ВПП;
- d) два определителя профиля ветра над островом Лантау;
- e) две импульсные доплеровские системы светового обнаружения и определения дальности (ЛИДАР), установленные в аэропорту (рис. А4-8).

Местонахождение этих метеодатчиков указано на рис. А4-1.

2.2 TDWR доказал свою эффективность при обнаружении вызванных грозой микропорывов и фронтов порывов в условиях осадков. ЛИДАРная система оповещения о сдвиге ветра (LIWAS), разработанная НКО, доказала свою эффективность при обнаружении сдвигов ветра, обусловленных нарушением воздушного потока рельефом местности и морским бризом, и линий сдвига на небольшой высоте в сухих (при отсутствии дождя) погодных условиях на основе профилей встречного ветра, воздействующего на воздушные суда, полученных в результате сканирования ЛИДАРОм в направлении глиссад. Расположенные в разных точках анемометры обеспечивают получение информации о горизонтальных и вертикальных сдвигах ветра. Определители профиля ветра измеряют параметры ветра на различных относительных высотах для предоставления информации о вертикальном сдвиге ветра.



Рис. А4-1. Карта Гонконговского международного аэропорта (НКІА) и его окрестностей. Интервал между горизонталями составляет 100 м

2.3 Предупреждения о возможных сдвигах ветра и турбулентности в пределах 3 м. миль от порогов ВПП вырабатываются автоматически с помощью расчетных алгоритмов на основе данных, поступающих от вышеупомянутой сети метеодатчиков. Указанные предупреждения обновляются с частотой как минимум раз в минуту для передачи на борт воздушных судов.

2.4 Фактические донесения пилотов о сдвиге ветра и турбулентности, с которыми они встретились на высоте ниже 500 м (1600 фут), получаемые в пределах короткого времени Гонконговской обсерваторией (НКО), также выпускаются в качестве предупреждений для вещательной передачи последующим воздушным судам с помощью службы автоматической передачи информации в районе аэродрома (ATIS). В предупреждения также включаются донесения о сдвиге ветра, составляемые автоматически на основе полетных данных, получаемых через систему передачи метеорологических данных с борта воздушных судов (AMDAR). Как правило, такие предупреждения действуют по крайней мере в течение получаса после передачи соответствующего донесения пилотам.

2.5 Автоматические предупреждения о сдвиге ветра подразделяются на две категории: “предупреждение о микропорыве” (МВА) для сдвига ветра с ослаблением встречного ветра на 30 уз или более и с осадками; и “предупреждение о сдвиге ветра” (WSA) для сдвига ветра с ослаблением или усилением встречного ветра на 15 уз или более (за исключением МВА). По каждому коридору захода на посадку/вылета выпускается сводное предупреждение, основанное на системе приоритетов, которая учитывает степень серьезности предупреждений и уровень надежности различных источников данных, которые генерируют эти предупреждения. Эти предупреждения передаются пилотам диспетчерами воздушного движения.

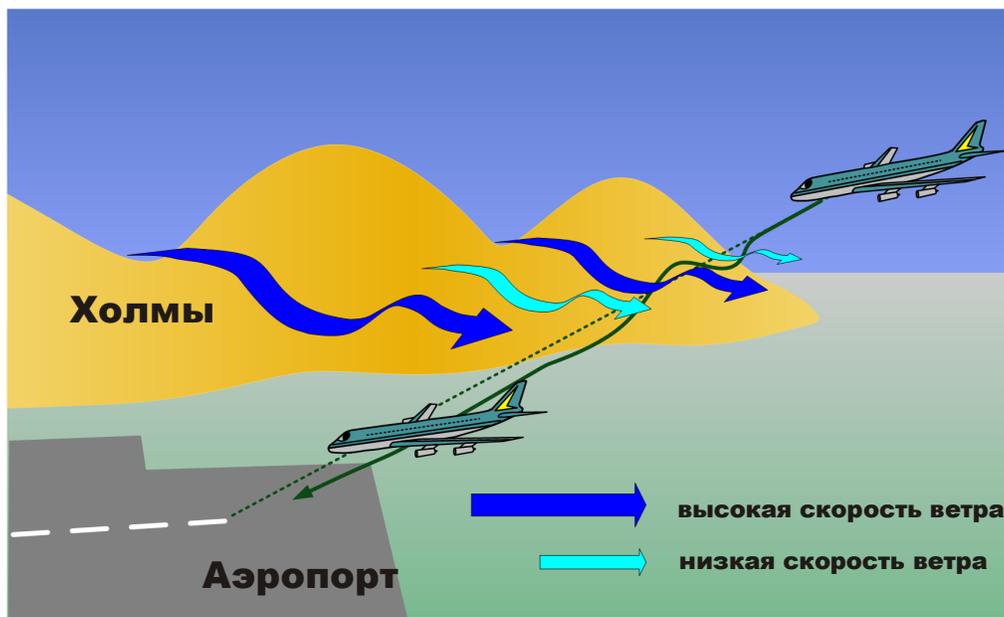


Рис. А4-2. Типичная схема воздушного потока, обусловленного рельефом местности, с высокой скоростью воздушного течения с подветренной стороны долин и низкой скоростью воздушного течения с подветренной стороны вершин

2.6 Используя данные, поступающие от указанной сети метеодатчиков, подразделение авиационных прогнозов НКО в дополнение к автоматическим оповещениям также выпускает предупреждения о сдвиге ветра, применяя объективную методику, разработанную в ходе изучения донесений пилотов о сдвиге ветра и связанных с ним метеоусловий. Эти методы постепенно автоматизируются, исходя из установленных показателей их эффективности после сверки с данными бортового оборудования и донесениями пилотов. Предупреждения, подготовленные подразделением авиационных прогнозов на основе объективной методики, и донесения о сдвиге ветра с борта воздушных судов (см. п. 2.4) передаются по системе ATIS. Для оказания помощи пилотам в оценке возможных изменений скорости ветра, которые могут возникнуть на конечном этапе захода на посадку в условиях сильного ветра, в сводке "ATIS для прибытия" в тех случаях, когда скорость ветра превышает 35 уз, указывается расчетная скорость ветра на высоте 2500 фут, определяемая установленным на вершине холма к югу от НК1А анемометром.

Оповещения и предупреждения о турбулентности

2.7 Автоматические предупреждения о турбулентности подразделяются на две категории по критериям тех же пороговых уровней интенсивности, которые приняты для автоматического представления донесений о турбулентности воздушными судами, и выпускаются для оповещения тяжелых воздушных судов: "умеренная турбулентность" в случае турбулентности со значением скорости затухания вихря (EDR) в диапазоне 0,3-0,5; и "сильная турбулентность" со значением кубического корня EDR, равным 0,5 или более. Уровень турбулентности в районе коридоров прибытия/вылета, вызываемой рельефом местности, определяется на основе данных о скорости и направлении ветра и их колебаниях, измеряемых сетью анемометров. Эти оповещения передаются пилотам диспетчерами воздушного движения. Предупреждения о турбулентности составляются подразделением авиационных прогнозов на основе донесений пилотов о сдвиге ветра при турбулентности и передаются по системе ATIS.

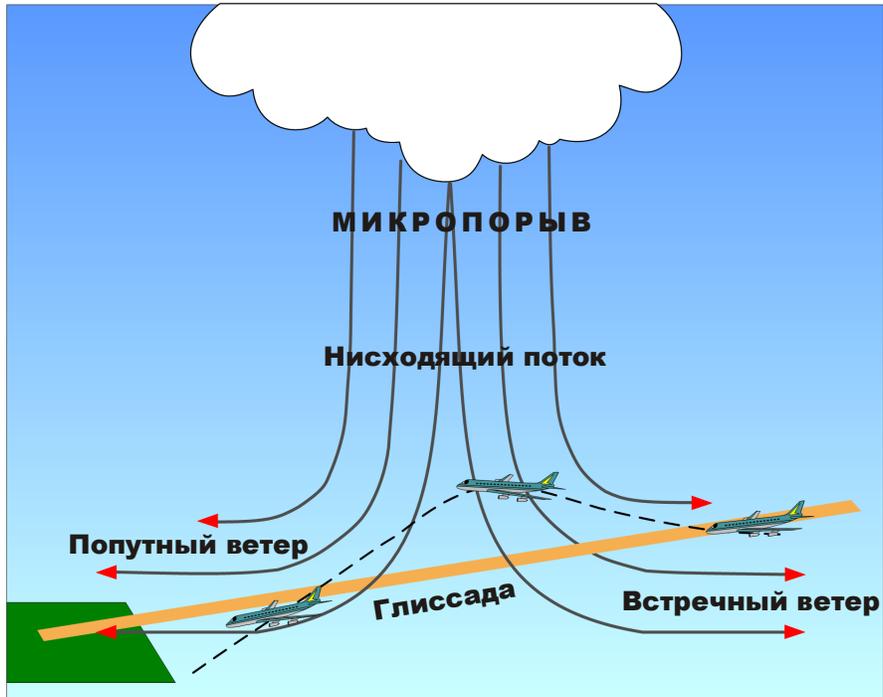


Рис. А4-3. Сдвиг ветра, вызванный микропорывом



Рис. А4-4. Сдвиг ветра, вызванный фронтом порывов

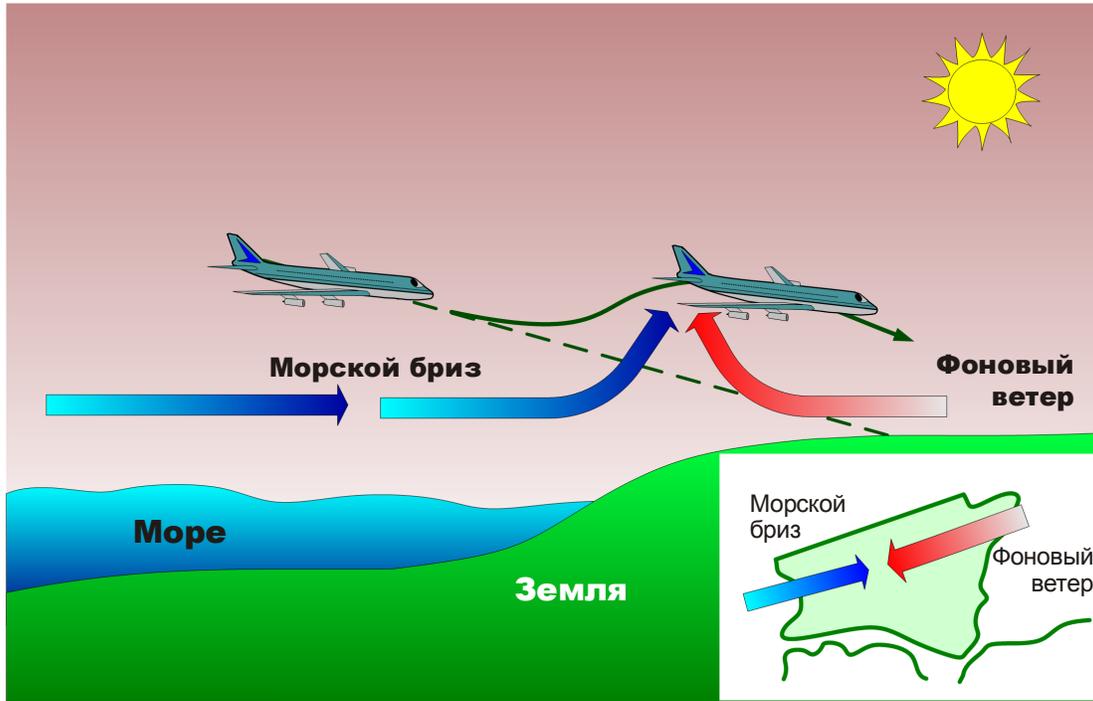


Рис. А4-5. Сдвиг ветра, вызванный морским бризом

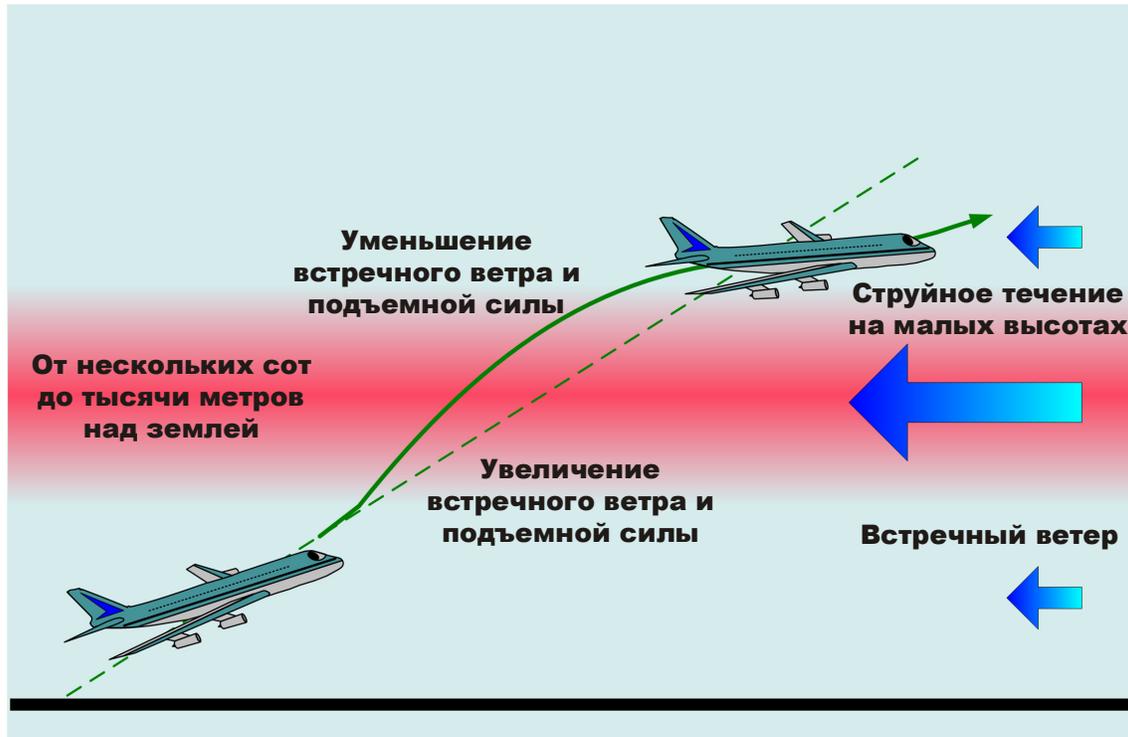


Рис. А4-6. Сдвиг ветра, вызванный струйным течением на малых высотах



Рис. А4-7. Аэродромный доплеровский метеорадиолокатор в Гонконге



Рис. А4-8. Средства обнаружения сдвига ветра, установленные в начале 2000-х гг.: метеорологический буй (слева) и ЛИДАР (справа)

Добавление 5

УВЧ-ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ ПРОФИЛЯ ВЕТРА В АЭРОПОРТУ НИЦЦЫ (ЛАЗУРНЫЙ БЕРЕГ)

(Необработанные данные от системы определения
профиля ветра, 2 сентября 2000 г., 1400–1700 UTC)

(См. п. 5.1.49)

*Примечание. Нижеследующие таблица и рисунок воспроизводятся с разрешения
службы "Метео Франс", и были пронумерованы для использования в настоящем добавлении.*

Таблица А5-1. Сообщения о сдвиге ветра от 2 сентября 2000 г.

16.56 ч and 16.57 ч мест.	16.58 ч and 16.59 ч мест.	17.00 ч мест.	17.01 ч мест.
Сдвиг безотносительно к направлению ВПП:	Сдвиг безотносительно к направлению ВПП:	Сдвиг безотносительно к направлению ВПП:	Сдвиг безотносительно к направлению ВПП:
Умеренный на 142 м Умеренный на 195 м Умеренный на 285 м Сильный на 321 м Сильный на 428 м Сильный на 464 м Слабый на 554 м Сильный на 643 м	Умеренный на 142 м Сильный на 213 м Сильный на 249 м Сильный на 285 м Сильный на 536 м	Сильный на 106 м Сильный на 142 м Сильный на 321 м Сильный на 392 м Сильный на 464 м Сильный на 536 м Сильный на 643 м	Сильный на 321 м Сильный на 392 м Сильный на 464 м Сильный на 536 м Сильный на 643 м
Направление ВПП: 40	Направление ВПП: 40	Направление ВПП: 40	Направление ВПП: 40
Умеренный на 195 м: противоположный направл. ВПП Слабый на 285 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 321 м: совпадает с направлением ВПП Сильный на 321 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 428 м: совпадает с направлением ВПП Слабый на 428 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 464 м: противоположный направл. ВПП Умеренный на 464 м: перпендикулярный ВПП Сильный на 643 м: противоположный направл. ВПП Умеренный на 643 м: перпендикулярный ВПП	Умеренный на 142 м: перпендикулярный ВПП Сильный на 213 м: противоположный направл. ВПП Сильный на 249 м: совпадает с направлением ВПП Сильный на 285 м: противоположный направл. ВПП Умеренный на 285 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 536 м: совпадает с направлением ВПП Умеренный на 536 м: перпендикулярный ВПП	Слабый на 106 м: совпадает с направлением ВПП Умеренный на 106 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 142 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 321 м: противоположный направл. ВПП Умеренный на 321 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 392 м: совпадает с направлением ВПП Умеренный на 392 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 464 м: противоположный направл. ВПП Слабый на 464 м: перпендикулярный ВПП Сильный на 536 м: совпадает с направлением ВПП Слабый на 536 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 643 м: противоположный направл. ВПП Умеренный на 643 м: перпендикулярный ВПП	Умеренный на 321 м: противоположный направл. ВПП Умеренный на 321 м: перпендикулярный ВПП Сильный на 392 м: совпадает с направлением ВПП Умеренный на 392 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 464 м: противоположный направл. ВПП Слабый на 464 м: перпендикулярный ВПП Сильный на 536 м: совпадает с направлением ВПП Слабый на 536 м: перпендикулярный ВПП Умеренный на 643 м: противоположный направл. ВПП Умеренный на 643 м: перпендикулярный ВПП

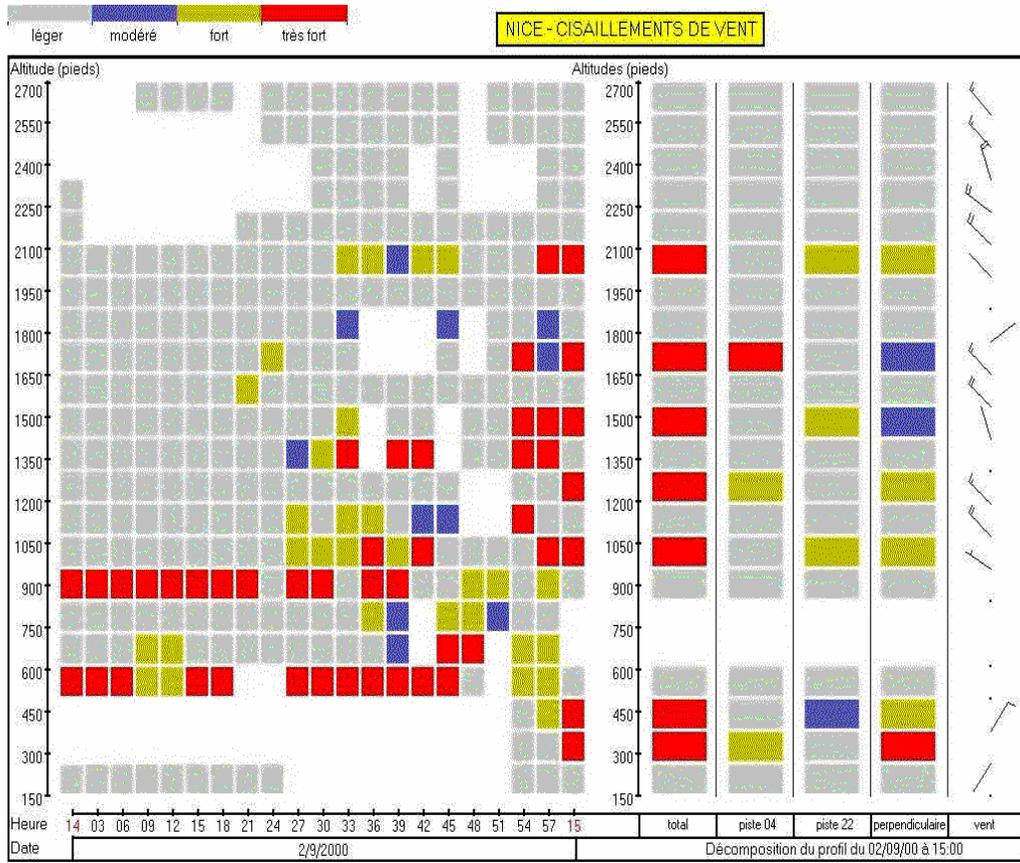


Рис. А5-1. Графическое отображение, согласованное с диспетчерским центром подхода аэропорта Ниццы (Лазурный Берег) для использования диспетчерами УВД

Добавление 6

ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ СДВИГА ВЕТРА НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ

(См. п. 5.1.61)

Примечание. Нижеизложенный текст взят из Кодекса федеральных нормативных положений Соединенных Штатов Америки (14 CFR, глава 1, часть 121), и воспроизводится с разрешения Федерального авиационного управления.

- (a) Самолеты, выпущенные после 2 января 1991 г. Эксплуатация газотурбинного самолета, выпущенного после 2 января 1991 г., допускается только в том случае, если он оснащен утвержденной бортовой системой обеспечения предупреждений о сдвиге ветра и указаний о действиях в полете, либо утвержденной бортовой системой обнаружения и избежания сдвига ветра, либо утвержденной комбинацией этих систем.
- (b) Самолеты, выпущенные до 3 января 1991 г. За исключением положений, оговоренных в п. (с) настоящего раздела, после 2 января 1991 г. эксплуатация газотурбинного самолета, выпущенного до 3 января 1991 г., допускается только в том случае, если он отвечает одному из следующих применимых в данном случае требований:
 - (1) Перечисленные ниже типы/модели/модификации воздушных судов должны быть оборудованы утвержденной бортовой системой обеспечения предупреждений о сдвиге ветра и указаний о действиях в полете, либо утвержденной бортовой системой обнаружения и избежания сдвига ветра, либо утвержденной комбинацией этих систем:
 - (i) А-300-600;
 - (ii) А-310 — все модификации;
 - (iii) А-320 — все модификации;
 - (iv) модификации “Боинг-737-300”, 400, и 500;
 - (v) “Боинг-747-400”;
 - (vi) “Боинг-757” — все модификации;
 - (vii) “Боинг-767” — все модификации;
 - (viii) F-100 — все модификации;
 - (ix) MD-11 — все модификации;

- (х) модификации MD-80, оснащенные системой EFIS и цифровой ЭВМ для наведения в полете "Ханиуэлл-970".
- (2) Все другие газотурбинные самолеты, не перечисленные выше, должны быть, как минимум, оснащены утвержденной бортовой системой предупреждения о сдвиге ветра. Эти самолеты могут быть оборудованы утвержденной бортовой системой обнаружения и избежания сдвига ветра или утвержденной комбинацией этих систем.
- (с) *Отсрочка даты выполнения требований.* Владелец сертификата может получить отсрочку даты выполнения требований, оговоренных в п. (b) данного раздела, если ФАУ одобрит его график модификации. Для обеспечения одобрения графика модификации и демонстрации соблюдения этого графика владелец сертификата должен осуществить следующее:
 - (1) представить до 1 июня 1990 г. заявку на утверждение графика модификации руководителю отдела летных стандартов местного районного управления регистрации сертификатов;
 - (2) указать, что все самолеты владельца сертификата, подлежащие оснащению оборудованием, предусмотренным положениями настоящего раздела, будут оборудованы такими системами до истечения срока реализации требований, установленного для переоснащения системами TCAS II;
 - (3) соблюдать свой график модификации и представлять отчеты о ходе работ, содержащие информацию, приемлемую для Администратора. Первоначальный отчет должен быть представлен к 2 января 1991 г., а последующие отчеты должны представляться каждые 6 месяцев в течение всего периода до завершения предусмотренных в графике работ. Указанные отчеты должны представляться главному инспектору бортового электронного оборудования, специально назначенному для владельца данного сертификата.
- (d) *Определения.* Для целей настоящего раздела применяются следующие определения:
 - (1) Газотурбинные самолеты включают, например, самолеты с турбовентиляторными, турбореактивными, винтовентиляторными двигателями и вентиляторными двигателями с ультра-высокой степенью двухконтурности. Данное определение специально исключает турбовинтовые самолеты.
 - (2) Самолет считается выпущенным в день, когда приемная комиссия регистрирует, что изготовление самолета завершено и он соответствует характеристикам, утвержденным ФАУ для данного типа ВС.

[Doc. No. 25954, 55 FR 13242, 9 апреля 1990 г.]

Добавление Н к части 121. Усовершенствованная система моделирования

В этом добавлении содержатся инструктивные указания и описываются методы подготовки членов летного экипажа на современных пилотажных тренажерах. В добавлении приводятся требования к тренажеру и визуальной системе, которым они должны отвечать, чтобы получить официальное утверждение пригодности для некоторых видов тренажерной подготовки.

Изложенные в данном добавлении требования дополняют сертификационные требования к тренажеру, указанные в §121.407. Каждый тренажер, используемый согласно положениям этого добавления, должен быть в соответствующих случаях утвержден как тренажер уровня В, С, или D.

Для того чтобы ФАУ утвердило тренажер того или иного уровня, необходимо продемонстрировать к удовлетворению Администратора следующее:

1. Документальное доказательство выполнения предусмотренных указанным добавлением соответствующих требований к тренажеру, визуальной системе и дополнительной учебной подготовке согласно уровню, для которого запрашивается такая сертификация.
2. Результаты оценки работы тренажера, подтверждающие, что его наземные, полетные и посадочные характеристики соответствуют типу моделируемого самолета.
3. Результаты оценки соответствующих требований к тренажеру и визуальной системе того уровня, для которого запрашивается такая сертификация.

ВНЕСЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕНАЖЕРА

Несмотря на потребность в определенной гибкости при внесении изменений в программу тренажера, важно проводить строгий анализ этих изменений для гарантии того, что тренажер сохраняет свою способность точно воспроизводить характеристики самолета в полете и на земле. Чтобы эти изменения не нарушили условий, на которых данный тренажер был утвержден согласно положениям добавления Н, необходимо придерживаться следующих процедур:

1. За 21 календарный день до внесения в программное обеспечение изменений, которые могут повлиять на динамику характеристик в полете или на земле того или иного тренажера, отвечающего требованиям добавления Н, в отделение ФАУ, отвечающее за проведение периодической оценки данного тренажера, необходимо представить в письменной форме полный перечень запланированных изменений, включая данные о динамике, относящиеся к системе движения тренажера и визуальной системе.
2. Если ФАУ не представит возражений против запланированного изменения в пределах 21 календарного дня, эксплуатант может осуществить это изменение.
3. Изменения, которые могут повлиять на утвержденное руководство по испытанию тренажера уровня В, должны быть испытаны эксплуатантом на этом тренажере, чтобы определить последствия таких изменений, прежде чем они будут представлены на рассмотрение ФАУ.
4. Фактически внесенные в программное обеспечение изменения должны быть обобщены и предоставлены ФАУ. Если проведенное эксплуатантом испытание выявляет отличие в характеристиках тренажера, вызванное тем или иным изменением, для обновления экземпляра руководства по испытаниям, имеющегося в ФАУ, необходимо также предоставить копию исправленной страницы руководства по испытаниям, содержащей новые результаты испытания тренажера.
5. ФАУ может подвергнуть анализу подтверждающие данные или провести летную проверку тренажера либо и то и другое, чтобы убедиться в том, что аэродинамические качества тренажера не ухудшились из-за какого-либо изменения в программном обеспечении.
6. Все заявки на внесение изменений оцениваются с использованием тех же критериев, которые применялись на этапе первоначального утверждения тренажера для уровней В, С, или D.

ПЕРЕЧЕНЬ МИНИМАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ (MEL) ТРЕНАЖЕРА

В связи со строгими допусками и другими сертификационными требованиями к тренажерам, подпадающим под действие положений добавления Н, тренажер способен обеспечивать реалистическую подготовку при неисправности некоторых второстепенных компонентов. Таким образом, эксплуатант может применять свой тренажер при условии соблюдения соответствующего перечня MEL, утвержденного Администратором для данного тренажера. В перечне MEL указаны компоненты тренажера и тип подготовки или проверки, которые разрешается осуществлять, если тот или иной компонент вышел из строя. С этой целью каждый компонент отнесен к одной из следующих категорий вместе с соответствующими замечаниями, касающимися использования данного компонента в рамках учебной программы:

- 1) подготовка или проверка не допускаются;
- 2) отработка определенных маневров;
- 3) сертификация и проверка;
- 4) летная подготовка в условиях, приближенных к реальным (LOFT).

ПРОДВИНУТАЯ ПРОГРАММА ТРЕНАЖЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ

Для того, чтобы эксплуатант мог осуществлять подготовку уровня С или D в соответствии с положениями данного добавления, все необходимое обучение и проверки на тренажере должны проводиться по продвинутой программе тренажерной подготовки, утвержденной для этого эксплуатанта Администратором. Указанная программа должна также предусматривать, чтобы все инструкторы и проверяющие авиаторы, задействованные в подготовке и проверках согласно положениям добавления Н, имели высокую квалификацию, позволяющую обеспечить уровень подготовки, соответствующий требованиям учебной программы. Продвинутая программа тренажерной подготовки включает следующее:

1. Программы эксплуатанта по начальной подготовке, переучиванию, повышению квалификации и периодической переподготовке, а также принятый им порядок восстановления требуемого срока давности летного опыта с использованием тренажера.
2. Методы, с помощью которых учебная программа обеспечит комплексное использование тренажеров уровня В, С, и D вместе с другими тренажерами и тренировочными устройствами для достижения максимальной эффективности общих функций по подготовке, проверкам и сертификации.
3. Документы, подтверждающие, что каждый инструктор и проверяющий летчик проработал не менее 1 года в этом качестве в рамках утвержденной программы обладателя сертификата или проработал не менее 1 года в качестве командира воздушного судна или второго пилота на самолете той же группы, для которой он обучает или проверяет курсантов.
4. Процедуру, предусматривающую активное участие каждого инструктора и проверяющего летчика по утвержденной программе в регулярных рейсах авиакомпании в качестве члена летного экипажа либо в утвержденной программе наблюдения за рейсами авиакомпании на тех же типах самолетов, для которых он обучает или проверяет курсантов.
5. Процедуру, предусматривающую, чтобы каждый инструктор или проверяющий летчик проходил ежегодно как минимум 4-часовой курс подготовки для ознакомления с продвинутой программой

эксплуатанта по тренажерной подготовке или с внесенными в нее изменениями, а также для усиления своей роли в этой программе. Курс обучения инструкторов и проверяющих летчиков, участвующих в программе тренажерной подготовки, включает ознакомление с политикой и процедурами в области подготовки персонала, методикой и приемами обучения, манипулированием органами управления тренажера (включая панели управления условиями окружающей среды и отказами оборудования), ограничениями тренажера и минимальным оборудованием, необходимым для каждого учебного курса.

6. Специальную программу летной подготовки в условиях, приближенных к реальным (LOFT) для упрощения перехода от тренажера к рейсовым полетам. Указанная программа LOFT включает по крайней мере 4-часовой курс подготовки для каждого члена летного экипажа. Она также содержит как минимум два репрезентативных сегмента полета по маршруту эксплуатанта. Один из сегментов полета предусматривает использование строго нормальных эксплуатационных процедур, начиная от буксировки в одном аэропорту до прибытия в другой. Другой полетный сегмент включает подготовку в соответствующих нештатных и аварийных условиях производства полетов.

УРОВЕНЬ В

Разрешенные виды подготовки и проверки

1. Восстановление опыта последнего времени (§121.439).
2. Взлеты и посадки в ночное время суток (часть 121, добавление E).
3. Посадки при проверке уровня летной подготовки без выполнения посадок с соблюдением требований, приближенных к реальным (§121.441).

Требования к тренажеру

1. Программа аэродинамических характеристик должна включать следующее:
 - a. Эффект приземления, например, выравнивание перед приземлением и касание ВПП. Для этого требуются данные о подъемной силе, аэродинамическом сопротивлении и моменте тангажа при касании земли.
 - b. Реакция на земле: реакция самолета при касании ВПП во время посадки, включая отклонение стоек шасси, трение пневматиков и воздействие боковых сил.
 - c. Характеристики управления на земле: входные данные управления, включающие данные бокового ветра, торможения, реверса тяги, замедления движения и радиуса разворота.
2. Системы с возможностью движения как минимум относительно трех осей.
3. Руководство по испытаниям, относящимся к посадочным маневрам уровня В, для сверки тренажерных данных с фактическими данными летных испытаний самолета и представления результатов испытания тренажера для первоначальной его сертификации в качестве тренажера уровня В.
4. Многоканальные самописцы, способные регистрировать результаты испытаний уровня В.

Требования к визуальной системе

1. Визуальная система, совместимая с аэродинамическим программным обеспечением.
2. Время реакции визуальной системы от момента ввода пилотом управляющей команды до момента визуального отображения результата не превышает более чем на 300 мс время движения самолета при такой же команде. Время реакции визуальной системы определяется как завершение сканирования визуальным индикатором первого видеополя, содержащего различную информацию, вырабатываемую в результате внезапного ввода команды управления.
3. Средство регистрации времени реакции визуальной системы для сравнения с самолетными данными.
4. Визуальные сигналы для оценки скорости снижения и восприятия глубины пространства при выполнении посадок.
5. Визуальное сопоставление обстановки с приборными данными для исключения заметного запаздывания.

УРОВЕНЬ С

Разрешенные виды подготовки и проверки

1. Для всех пилотов: переучивание на другой тип самолета той же группы, а для командира воздушного судна – сертификационная проверка в соответствии с требованиями §61.153(g) настоящей главы.
2. Подготовка с целью повышения квалификации до уровня командира воздушного судна и сертификационная проверка, когда пилот:
 - a. ранее имел квалификацию второго пилота при работе с оборудованием, для которого он повышает свою квалификацию;
 - b. имеет по крайней мере 500 ч фактического налета в качестве второго пилота на самолете той же группы;
 - c. в настоящее время выполняет функции второго пилота на самолете той же группы.
3. Начальная подготовка и сертификационная проверка командира воздушного судна, когда пилот:
 - a. в настоящее время выполняет функции второго пилота на самолете той же группы;
 - b. имеет как минимум 2500 ч налета в качестве второго пилота на самолете той же группы;
 - c. выполнял функции второго пилота по крайней мере на двух самолетах той же группы.
4. Для всех претендентов из числа вторых пилотов, которые удовлетворяют оговоренным в §61.159 настоящей главы требованиям к авиационному опыту на самолете, начальная подготовка и

повышение квалификации и проверки, предусмотренные в данной части, а также сертификационные проверки в соответствии с §61.153 настоящей главы.

Требования к тренажеру

1. Репрезентативные динамические характеристики бокового ветра и трехмерные динамические характеристики сдвига ветра с учетом соответствующих данных самолета.
2. Репрезентативные силы для остановки ВС и путевого управления, по крайней мере, для следующих условий ВПП с учетом соответствующих данных самолета:
 - a) сухая,
 - b) влажная,
 - c) покрытая льдом,
 - d) местами влажная,
 - e) местами покрытая льдом,
 - f) влага на остатках резины в зоне приземления.
3. Репрезентативная динамика отказа тормозов и пневматиков (включая противоюзовой автомат) и снижение эффективности тормозов из-за высокой температуры нагрева тормозов с учетом соответствующих данных самолета.
4. Система движения тренажера, обеспечивающая характеристики движения, которые соответствуют параметрам системы с возможностью движения относительно шести осей, или превосходят их.
5. Основные эксплуатационные навигационные системы, включая электронное приборное оборудование, ИНС и, в соответствующих случаях, систему OMEGA.
6. Средства для быстрого и эффективного тестирования программ и оборудования тренажера.
7. Расширенные возможности, точность, разрешающая способность и динамические характеристики ЭВМ тренажера, способные удовлетворить потребности уровня С. Для аэродинамических программ, имеющих критически важное значение, требуется разрешающая способность, эквивалентная, по крайней мере, разрешающей способности 32-разрядной ЭВМ.
8. Своевременная модернизация оборудования и программного обеспечения тренажера на постоянной основе после модификации самолета.
9. Звуки осадков и существенных шумов самолета, воспринимаемых пилотов во время нормальных операций, а также треск, когда тренажер совершает посадку, превышая пределы возможностей шасси.
10. Динамика ощущения органов управления воздушным судном должна точно воспроизводить соответствующую динамику моделируемого самолета. Это определяется путем сравнения зарегистрированных параметров ощущения органов управления тренажера с результатами измерения таких данных на самолете в конфигурации взлета, крейсерского полета и посадки.

11. Относительные скорости срабатывания системы движения тренажера, визуальной системы и приборов кабины летного экипажа тесно увязываются для обеспечения интегрированных сигналов датчиков. Эти системы реагируют на внезапные данные по углу тангажа, крена и рыскания, вводимые пилотом, в пределах 150 мс после ввода, но не ранее, чем самолет среагирует в аналогичных условиях. При нарушении стационарного режима визуальная картина не должна изменяться пока не сработает результирующее движение, однако это должно происходить в пределах допуска динамических характеристик системы, равного 150 мс. Проверка выполнения этих требований предусматривает одновременную регистрацию аналоговых выходных данных от ручки управления и рулей направления, выходных данных от акселерометра, прикрепленного к платформе системы движения тренажера, которая располагается в приемлемом месте возле кресел пилотов, выходного сигнала, подаваемого на дисплей визуальной системы (включая задержки аналоговых данных визуальной системы), и выходного сигнала, подаваемого на авиагоризонт, или какую-либо другую проверку, утвержденную Администратором. Указанная проверка завершается сравнением зарегистрированной реакции тренажера с параметрами фактической реакции самолета в конфигурации взлета, крейсерского полета и посадки.

Требования к визуальной системе

1. Обеспечение визуального отображения обстановки в сумерках и в ночное время суток в конкретных условиях не менее трех аэропортов, включая по крайней мере десять уровней затенения, общих характеристик местности и существенных наземных ориентиров.
2. Ориентация радионавигационных средств должна надлежащим образом учитывать расположение ВПП аэропорта.
3. Наличие процедур проверки для быстрого подтверждения параметров визуальной системы, касающихся цвета, RVR, фокуса, яркости, равномерности горизонта и углового пространственного положения в сравнении с авиагоризонтом тренажера.
4. Для этапов захода на посадку и посадки на высоте 2000 фут над аэропортом и ниже и в радиусе 10 миль от аэропорта – обеспечение отображения метеословий, включающих следующее:
 - a. переменная плотность облаков;
 - b. частичное затенение земной поверхности; т. е. эффект в условиях облачности от рассеянных до разорванных облаков;
 - c. постепенный выход из облачности;
 - d. местами туман;
 - e. воздействие тумана на освещение аэропорта;
 - f. метеословия, соответствующие посадкам по категории II и III.
5. Обеспечение непрерывной минимальной зоны обзора в 75° по горизонтали и 30° по вертикали для каждого кресла пилота. “Мертвое пространство” появляется лишь в тех случаях, когда оно появилось бы в самолете, который имитируется тренажером, либо как этого требует оборудование визуальной системы. Визуальные системы у обоих кресел пилота обеспечивают возможность их одновременного функционирования.

6. Возможность отображения опасных ситуаций на земле и в воздухе, таких, как пересечение другим самолетом действующей ВПП или сближение самолетов в воздухе.

УРОВЕНЬ D

Разрешенные виды подготовки и проверки

Любая летная подготовка пилотов и проверка уровня летной подготовки, предусмотренные в данной части, а также в требованиях к сертификационной проверке в §61.153(g) настоящей главы, за исключением требований, перечисленных в следующем предложении. Линейная проверка, предусмотренная требованиями §121.440 данной части, постоянно действующими требованиями для самолетов в добавлении E данной части и требованиями к опыту полетов в §121.434 данной части, должна по-прежнему проводиться на самолете.

Требования к тренажеру

1. Обеспечение характерных для бафтинга движений, возникающих в процессе производства полетов (например, бафтинг при высокой скорости, выпущенных шасси, закрылках, касание земли носовым колесом, срыв), которые могут ощущаться в кабине летного экипажа. Тренажер должен иметь такие программы и приборы, которые позволяли бы измерять параметры характерных режимов бафтинга и сравнивать их с данными самолета. Данные самолета также требуются для определения движения кабины летного экипажа, когда самолет подвергается воздействию атмосферного возмущения, такого, как “болтанка” и турбулентность типа “булыжной мостовой”. Приемлемы универсальные модели атмосферного возмущения, которые близки к данным, демонстрируемым при летных испытаниях.
2. Обеспечение аэродинамического моделирования применительно к воздушному судну, для которого первый сертификат типа был выдан после 1 июня 1980 г., включая наземный эффект горизонтального полета на малой высоте, влияние числа М на больших высотах, воздействие обледенения планера, воздействие нормальной и реверсной динамической тяги на поверхности управления, моделирование аэроупругости, а также, связанных с боковым скольжением нелинейностей, основанных на данных летных испытаний этого самолета, представленных изготовителем.
3. Обеспечение реалистических параметров амплитуды и частоты шумов и звуков в кабине летного экипажа, включая звуки, создаваемые осадками, и звуки, создаваемые двигателями и планером. Указанные звуки координируются с моделями метеоусловий, предусмотренными в требовании № 3 к визуальной системе.
4. Возможность самопроверки для оборудования и программ тренажера в целях установления их соответствия требованиям, предъявляемым к тренажерам уровня В, С, и D.
5. Распечатки диагностического анализа неисправностей тренажера, достаточных для установления того, удовлетворяются ли требования в отношении перечня минимального оборудования (MEL). Указанные распечатки сохраняются эксплуатантом в течение всего времени между периодическими оценками тренажера Федеральным авиационным управлением как часть документации о ежедневных несоответствиях, предусмотренной требованиями §121.407(a)(5).

Требования к визуальной системе

1. Обеспечение визуального изображения обстановки в дневное время, в сумерках и в ночное время суток с достаточным числом элементов картины, позволяющих распознать конкретный аэропорт, местность и крупные наземные ориентиры вокруг этого аэропорта и успешно выполнить визуальную посадку. Визуальная картина дневного времени должна быть частью общих условий в кабине летного экипажа в дневное время, которые соответствуют по крайней мере уровню света в кабине в облачный день. Для целей данного правила визуальная система для дневного времени суток определяется как визуальная система, способная обеспечить как минимум полноцветное изображение, сравнимое по характеристикам с тем, которое достигается при 4000 гранях или 1000 поверхностей для условий дневного света и 4000 световых точек для визуального изображения в ночное время суток и в сумерках, а также 6 фут-ламбертах света на уровне глаз пилота (яркость бликов), разрешающей способности поля обзора на уровне глаз пилота, равной 3 угловым минутам, и отображении без каких-либо квантизаций и других отвлекающих визуальных эффектов, когда тренажер находится в движении. Имитация условий освещенности кабины динамическим образом соответствует изображаемой визуальной картине. В случае изображения для условий дневного времени такая освещенность кабины не должна «размывать» изображаемую визуальную картину и не должна снижаться до уровня менее 5 фут-ламбертов яркости света, отражаемого от карты захода на посадку, находящейся на высоте колена в рабочем месте пилота, и/или 2 фут-ламбертов яркости света, отражаемого от лица пилота.
2. Обеспечение визуального изображения репрезентативных взаимосвязанных физических условий, которые, как известно, способны вызывать у некоторых пилотов определенные иллюзии при посадке, включая короткую ВПП, посадку на воду, уклон ВПП, визуальные топографические ориентиры и возвышающуюся местность.
3. Обеспечение специфических метеозффектов, которые включают звуковые, визуальные эффекты и эффекты движения при входе в зону небольших, средних или сильных осадков вблизи грозы во время взлета, захода на посадку и посадки на высотах 2000 и менее футов над аэропортом и в радиусе 10 миль от аэропорта.
4. Выполнение визуальных требований уровня С для изображений в условиях дневного времени, а также в сумерках и в ночное время суток.
5. Обеспечение изображения условий влажной и, если это применимо к подготовке пилота, покрытой снегом ВПП, включая эффекты освещения ВПП.
6. Обеспечение реалистических цветов и направленности аэропортового освещения.
7. Обеспечение индикации данных метеорадиолокатора на воздушных судах, где радиолокационная информация отображается на навигационных приборах пилота. (Разделы 313, 601, 603, 604, Федерального авиационного акта 1958 г. с поправками (49 U.S.C. 1354, 1421, 1423, 1424); раздел 6(с) Акта о департаменте транспорта (49 U.S.C. 1655(с)).

[Doc. No. 19758, 45 FR 44183 от 30 июня 1980 г.; 45 FR 48599 от 31 июля 1980 г. с поправками 121-258, 61 FR 30732 от 17 июня 1996 г.; 61 FR 39859 от 31 июля 1996 г.; поправкой 121-267, 62 FR 68137 от 30 декабря 1997 г.]

ДОБАВЛЕНИЕ 7

Наборы данных для моделирования сдвига ветра

(См. п. 5.1.72)

Примечание. Таблица и примечания 1-10 воспроизводятся с разрешения ФАУ. Номер таблицы проставлен ИКАО для целей использования в данном добавлении.

Таблица А7-1. Наборы данных для моделирования сдвига ветра

No.	Набор данных системы НАСА для моделирования условий в районе аэродрома (TASS)	Интервал горизонт. координ. сетки) [1]	Максим. отраж. способность цели (dBz)	Отраж. способность потока (dBz)	Примерный диаметр истекающ. потока при максим. $-V$ (km)	Стадия развития	Примерн. максимум на участке 1 км. Показатель FBAR [2]	Мешающий дождь [3]	Интенсивность падения температуры	Симметрия	Модель радио-локац. помех	Сценарий полета, местоположение и воздушная скорость [4]
1	Авиапроисшествие в а/п DFW НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 111 Влажный микропорыв с дождем и градом	50	55	35-42	3,5	Данные отсут.	0,2	Нет	Адиабат.	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	ВС установлено вдоль оси ВПП для взлета на восток; передняя кромка микропорыва находится в 3,0 м. мили от точки отпускания тормозов. ИС: 0 уз [5]
2	Авиапроисшествие в а/п DFW НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 111 Влажный микропорыв с дождем и градом	50	55	35-42	3,5	Данные отсут.	0,14	Нет	Адиабат. >	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на восток; микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в 1,2 м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
3	06/20/91 Исследовательский полет НАСА Орландо, Флорида НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 237 Влажный микропорыв	100	50	37-45	3,5	Данные отсут.	0,14	Да	Адиабат.	Неровн.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на юг; микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в 1,2 м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз

No.	Набор данных системы НАСА для моделирования условий в районе аэродрома (TASS)	Интервал горизонт. координ. сетки [1]	Максим. отраж. способность цели (dBz)	Отраж. способность потока (dBz)	Примерный диаметр истекающ. потока при максим. U (km)	Стадия развития	Примерн. максимум на участке 1 км. Показатель FBAR [2]	Мешающий дождь [3]	Интенсивность падения температуры	Модель радиолокац. помех	Сценарий полета, местоположение и воздушная скорость [4]
4	Исследовательский полет НАСА Орландо, Флорида НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 237 Влажный микропорыв	100	50	37-45	3,5	Развивающийся Ниже порога оповещ. [б]	0,06	Да	Адиабат.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на восток; микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в 1,2 м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
5	Исследовательский полет НАСА Орландо, Флорида НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 237 Влажный микропорыв	100	50	37-45	3,5	Данные отсутст.	0,19	Да	Адиабат.	Ньюарк 4R/22L	Уход на второй круг на высоте 100 фут на запад; микропорыв находится в 1,8 м. мили от данной 100-фут. точки у дальнего конца ВПП. ИС: 150 уз
6	7/1/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 349 Множественный микропорыв	100	35	10-16	3	Развивающийся Ниже порога оповещ. [б]	0,083	Небольшой	Адиабат. в зависим. от микропорыва	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на восток; микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
7	7/1/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 349 Множественный микропорыв	100	37	10-16	3	Развивающийся Ниже порога оповещ. [б]	0,13	Да	Адиабат.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на север; микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в 12 м. милях от порога ВПП. ИС: 150 уз

No.	Набор данных системы НАСА для моделирования условий в районе аэродрома (TASS)	Интервал горизонт. координ. сетки [1]	Максим. отраж. способность цели (dBz)	Отраж. способность потока (dBz)	Примерный диаметр истекающ. потока при максим. $\sim V$ (km)	Стадия развития	Пример. максимум на участке 1 км. Показатель FBAR [2]	Мешающий дождь [3]	Интенсивность падения температуры	Меняется в зависимости от микропорыва	Модель радио-локац. помех	Сценарий полета, местоположение и воздушная скорость [4]
8	7/1/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 351 Множественный микропорыв	100	24	13-27	1,5-3,0	Развивающийся Соответст. поругу Оповещ. Обязательнo [6]	0,17	Да	Адиабат.	Меняется в зависимости от микропорыва	Ньюарк 4R/22L	ВС установлено вдоль оси ВПП для взлета на север; передняя кромка микропорыва расположена таким образом, что истекающий поток направлен навстречу ВС. ИС: 0 уз [5]
9	7/1/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 351 Множественный микропорыв	100	25	13-27	1,5-3,0	Данные отсутст.	0,19	Да	Адиабат.	Меняется в зависимости от микропорыва	Ньюарк 4R/22L	ВС установлено вдоль оси ВПП для взлета на восток; передняя кромка микропорыва расположена таким образом, что истекающий поток направлен навстречу ВС. ИС: 0 уз [5]
10	7/1/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 351 Множественный микропорыв	100	25	13-27	1,5-3,0	Данные отсутст.	0,19	Да	Адиабат.	Меняется в зависимости от микропорыва	Ньюарк 4R/22L	Моделирование взлета на восток начиная с высоты уборки шасси; передняя кромка микропорыва находится в 3,0 м. мили от точки отпущения тормозов. ИС: 150 уз [7]
11	7/1/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 351 Множественный микропорыв	100	40	13-27	1,5-3,0	Данные отсутст.	0,15	Да	Адиабат.	Меняется в зависимости от микропорыва	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на север по курсу 360°. Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз

No.	Набор данных системы НАСА для моделирования условий в районе аэродрома (TASS)	Интервал горизонт. координ. сетки [1]	Максим. отраж. способность цели (dBz)	Отраж. способность потока (dBz)	Примерный диаметр истекающ. потока при максим. $\sim V$ (km)	Стадия развития	Примерн. максимум на участке 1 км. Показатель FBAR [2]	Мешающий дождь [3]	Интенсивность падения температуры	Меняется в зависимости от микропорыва	Модель радиолокац. помех [4]	Сценарий полета, местоположение и воздушная скорость
12	7/11/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 351 Множественный микропорыв	100	40	13-27	1,5-3,0	Данные отсут.	0,18	Да	Адиабат.	Меняется в зависимости от микропорыва	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на северо-восток по курсу 45° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
13	7/11/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 349 Множественный микропорыв	100	40	13-27	1,5-3,0	Данные отсут.	0,17	Да	Адиабат.	Меняется в зависимости от микропорыва	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на восток по курсу 90° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
14	7/11/83 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 351 Множественный микропорыв	100	40	13-27	1,5-3,0	Данные отсут.	0,13	Да	Адиабат.	Меняется в зависимости от микропорыва	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на юго-восток по курсу 135° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
15	7/11/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 351 Множественный микропорыв	100	40	13-27	1,5-3,0	Данные отсут.	0,17	Да	Адиабат.	Меняется в зависимости от микропорыва	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на запад по курсу 270° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз

No.	Набор данных системы НАСА для моделирования условий в районе аэродрома (TASS)	Интервал горизонт. координ. сетки [1]	Максим. отраж. способность цели (dBz)	Отраж. способность потока (dBz)	Примерный диаметр истекающ. потока при максим. $\sim V$ (km)	Стадия развития	Примерн. максимум на участке 1 км. Показатель FBAR [2]	Мешающий дождь [3]	Интенсивность падения температуры	Модель радиолокац. помех	Сценарий полета, местоположение и воздушная скорость [4]
16	7/11/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 351 Множественный микропорыв	100	40	13-27	1,5-3,0	Данные отсутст.	0,13	Да	Адиабат.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на северо-запад по курсу 315° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
17	7/11/88 Инцидент Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 351 Множественный микропорыв	100	40	13-27	1,5-3,0	Данные отсутст.	0,15	Да	Адиабат.	Денвер 26L	Стандартный разворот на курсовой радиомаяк на высоте 1000 футов AGL. Микропорыв следует расположить таким образом, чтобы он находился непосредственно перед ВС в момент захвата луча курсового радиомаяка. ИС: 200 уз [8]
18	7/11/82 Температурная инверсия Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 436 Множественный микропорыв	50	27	0-10	1,0	Данные отсутст.	0,23	Нет	Стабиль- ный слой	Ньюарк 4R/22L	ВС установлено вдоль оси ВПП для взлета на восток; передняя кромка микропорыва расположена таким образом, что истекающий поток направлен навстречу ВС. ИС: 0 уз
19	7/14/82 Температурная инверсия Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 436 Множественный микропорыв	50	27	0-10	1,0	Данные отсутст.	0,24	Нет	Стабиль- ный слой	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на восток; микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз

No.	Набор данных системы НАСА для моделирования условий в районе аэродрома (TAAS)	Интервал горизонт. координ. сетки [1]	Максим. отраж. способность цели (dBz)	Отраж. способность потока (dBz)	Примерный диаметр истекающ. потока при максим. $-V$ (km)	Стадия развития	Примерн. максимум на участке 1 км. Показатель FBAR [2]	Мешающий дождь [3]	Интенсивность падения температуры	Симметрия	Модель радио-локац. помех	Сценарий полета, местоположение и воздушная скорость [4]
20	7/14/82 Температурная инверсия Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 436 Множественный микропорыв	50	27	от -10 до -4	3,0	Данные отсут.	0,24	Нет	Стабильный слой	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на восток при угле сноса 25° . Передняя кромка микропорыва находится на пороге ВПП. ИС: 120 уз [9]
21	7/8/89 Зондирование Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 540 Очень сухой микропорыв [10]	100	17-20	от -10 до -4	3,0	Данные отсут.	0,18	Нет	Адиабат.	Неровн.	Ньюарк 4R/22L	Моделирование взлета на запад начиная с высоты уборки шасси; передняя кромка микропорыва находится в 3,0 м. мили от точки отпущения тормозов. ИС: 150 уз [7]
22	7/8/89 Зондирование Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 540 Очень сухой микропорыв [10]	100	17-20	от -10 до -4	3,0	Данные отсут.	0,16	Нет	Адиабат.	Неровн.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на север; микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в 12 м. милях от порога ВПП. ИС: 150 уз
23	7/8/89 Зондирование Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 540 Очень сухой микропорыв [10]	100	17-20	от -10 до -4	3,0	Данные отсут.	0,12	Нет	Адиабат.	Неровн.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на север при угле сноса 25° . Передняя кромка микропорыва находится на пороге ВПП. ИС: 120 уз [9]

No.	Набор данных системы НАСА для моделирования условий в районе аэродрома (TAAS)	Интервал горизонт. координ. сетки [1]	Максим. отраж. способность цели (dBz)	Отраж. способность потока (dBz)	Примерный диаметр истекающ. потока при максим. $-V$ (km)	Стадия развития	Примерн. максимум на участке 1 км. Показатель FBAR [2]	Мешающий дождь [3]	Интенсивность падения температуры	Симметрия	Модель радио-локац. помех	Сценарий полета, местоположение и воздушная скорость [4]
24	7/8/89 Зондирование Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 540 Очень сухой микропорыв [10]	100	17–20	от –10 до –4	3,0	Данные отсутст.	0,17	Нет	Адиабат.	Неровн.	Ньюарк 4R/22L	Уход на второй круг на высоте 100 фут на север; микропорыв находится в 1,8 м. мили от данной 100-фут. точки у дальнего конца ВПП. ИС: 150 уз
25	7/8/89 Зондирование Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 540 Очень сухой микропорыв [10]	100	17–20	от –10 до –4	3,0	Данные отсутст.	0,16	Нет	Адиабат.	Неровн.	Денвер 26L	Стандартный разворот на курсовой радиомаяк на высоте 1000 фут AGL с ограничением по крену 25°. Микропорыв следует расположить таким образом, чтобы он находился непосредственно перед ВС в момент захвата луча курсового радиомаяка. ИС: 200 уз [8]
26	7/8/89 Зондирование Денвер, Колорадо НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 545 Чрезвычайно сухой микропорыв Второй импульс [10]	100	5	–11	3,0	Данные отсутст.	0,15	Нет	Адиабат.	Неровн.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом –3° на север; микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в ½ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
27	Производные данные зондирования Флорида НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 614 Очень асимметричный микропорыв	100	50	40–47	1,0	Данные отсутст.	0,11	Небольшой	Адиабат.	Асимм.	Нац. а/п Вашингтон 18	Стандартный разворот на курсовой радиомаяк на высоте 1000 фут AGL с ограничением по крену 25°. Микропорыв следует расположить таким образом, чтобы он находился непосредственно перед ВС в момент захвата луча курсового радиомаяка. ИС: 200 уз [8]

No.	Набор данных системы НАСА для моделирования условий в районе аэродрома (TASS)	Интервал горизонт. координ. сетки [1]	Максим. отраж. способность цели (dBz)	Отраж. способность потока (dBz)	Примерный диаметр истекающ. потока при максим. u (km)	Стадия развития	Примерн. максимум на участке 1 км. Показатель FBAR [2]	Мешающий дождь [3]	Интенсивность падения температуры	Асимметрия	Модель радиолокац. помех	Сценарий полета, местоположение и воздушная скорость [4]
28	Производные данные зондирования Флорида НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 614 Очень асимметричный микропорыв	100	50	40-47	1,0	Данные отсут.	0,15	Небольшой	Адиабат.	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на северо по курсу 360° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
29	Производные данные зондирования Флорида НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 614 Очень асимметричный микропорыв	100	50	40-47	1,0	Данные отсут.	0,17	Небольшой	Адиабат.	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на северо-восток по курсу 45° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
30	Производные данные зондирования Флорида НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 614 Очень асимметричный микропорыв	100	50	40-47	1,0	Данные отсут.	0,15	Небольшой	Адиабат.	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на юг по курсу 180° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
31	Производные данные зондирования Флорида НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 614 Очень асимметричный микропорыв	50	50	40-47	1,0	Данные отсут.	0,19	Небольшой	Адиабат.	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на юго-запад по курсу 225° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз

No.	Набор данных системы НАСА для моделирования условий в районе аэродрома (TASS)	Интервал горизонт. координ. сетки) [1]	Максим. отраж. способность цели (dBz)	Отраж. способность потока (dBz)	Примерный диаметр истекающ. потока при максим. $-V$ (km)	Стадия развития	Примерн. максимум на участке 1 км. Показатель FBAR [2]	Мешающий дождь [3]	Интенсивность падения температуры	Симметрия	Модель радио-локац. помех	Сценарий полета, местоположение и воздушная скорость [4]
32	Производные данные зондирования Флорида НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 614 Очень асимметричный микропорыв	50	50	40–47	1,0	Данные отсутст.	0,13	Небольшой	Адиабат.	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на запад по курсу 270° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
33	Производные данные зондирования Флорида НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 614 Очень асимметричный микропорыв	100	50	40–47	1,0	Данные отсутст.	0,13	Небольшой	Адиабат.	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на северо-запад по курсу 315° . Микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в $\frac{1}{2}$ м. мили от порога ВПП. ИС: 150 уз
34	Откорректированные данные зондирования Ноултона, Монтана НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 727 Фронт порывов	100	20 В зоне наивысшего значения FBAR	18–20	Данные отсутст.	Данные отсутст.	0,12	Нет	Адиабат.	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	ВС установлено вдоль оси ВПП для взлета на запад; передняя кромка микропорыва расположена таким образом, что истекающий поток направлен навстречу ВС. ИС: 0 уз [5]
35	Откорректированные данные зондирования Ноултона, Монтана НАБОР ДАННЫХ/ВРЕМЯ: 727 Фронт порывов	100	20 В зоне наивысшего значения FBAR	18–20	Данные отсутст.	Данные отсутст.	0,13	Нет	Адиабат.	Асимм.	Ньюарк 4R/22L	Заход на посадку с прямой под углом -3° на запад; микропорыв находится в районе среднего радиомаркера в 12 м. милях от порога ВПП. ИС: 150 уз

ПРИМЕЧАНИЯ:

[1] Наборы данных системы TASS НАСА рассчитаны на разрешающую способность 50 м.

- [2] Показатели F в наборах данных, разработанных для значений истинной воздушной скорости в 120, 150, и 200 уз, будут различными. Поскольку значение показателя F в некоторой степени зависит от величины истинной воздушной скорости (TAS) самолета, для стандартизации оценки этих систем выбрана типичная истинная воздушная скорость 150 уз. Однако алгоритмы системы обнаружения сдвига ветра могут быть чувствительны к истинной воздушной скорости, при этом высокая воздушная скорость имеет критическое значение для определения частоты обновления данных системы с учетом минимального времени обнаружения, а оценку работы системы при малой воздушной скорости следует осуществлять лишь для демонстрации того, что система действительно функционирует в условиях малой воздушной скорости. Поэтому необходимо провести оценку работы системы в ходе определенного ограниченного числа испытаний при истинной воздушной скорости в 120 и 200 уз. Выбранная величина истинной воздушной скорости в 120 уз является типичным минимальным значением для легких самолетов при взлетах и посадках с максимальной выпущенными закрылками в стандартных дневных условиях на уровне моря, а скорость 200 уз является типичным максимальным значением для тяжелых воздушных судов при производстве операций с минимальным отклонением захрылков в жаркий день в аэропортах, расположенных на большой высоте над уровнем моря.
- [3] Создающий помехи дождь может оказывать отрицательное влияние на характеристики работы системы. Система должна быть способна обнаруживать опасный сдвиг ветра с выдачей соответствующего предупреждения по крайней мере за 10 с вперед, чтобы ее можно было классифицировать как систему переднего обзора ("малой или большой дальности"). Поскольку сдвиги ветра могут возникнуть в обстановке сильного дождя, указанные системы должны быть способны обнаруживать их в этих условиях.
- Анализ данных TDWR, полученных в Орландо, показал, что наибольшая разность, зарегистрированная в отражающей способности двух очагов, порождающих микропорывы и находящийся в пределах 5 км друг от друга, составляла 10 dBz. В Денвере максимальная величина этого параметра составила 30 dBz, что наблюдалось лишь дважды. Поэтому для целей проверки рабочих характеристик датчиков в условиях мешающего дождя, траектории полета, указанные в добавлении E^a, были в соответствующих случаях сориентированы таким образом, чтобы они проходили через существенные области дождя, прежде чем достичь опасного микропорыва.
- Описанные в добавлении E траектории полета в соответствующих случаях сориентированы таким образом, чтобы зона мешающего дождя была достигнута раньше, чем зона опасного сдвига ветра.
- [4] Указанные системы обнаружения могут обладать возможностями обзора по вертикали с фиксированным или регулируемым диапазонами. Поскольку угол тангажа самолета зависит от избытка тяги, конфигурации и режима полета, система должна удовлетворительно функционировать во всех предполагаемых условиях.
- Требование о том, чтобы для каждой конфигурации была проведена оценка по всем пунктам матрицы испытаний, было бы чрезмерным; поэтому представляется разумным, чтобы изготовители систем определили и обосновали для своих систем соответствующие критические условия (в отношении обнаружения; подавления сигналов; обусловленных мешающими отражениями; индикации данных и т. д.).
- Полеты для сбора данных об отражениях сигналов РЛС от местных предметов следует осуществлять в соответствии с содержащимися в добавлении E указаниями в отношении этапов полета и характеристик. Все летные испытания следует проводить с использованием таких величин угла тангажа датчика/самолета, которые имеют критически важное значение для показателей работы системы.
- [5] Эти сценарии полета предназначены для демонстрации случаев обнаружения сдвига ветра до момента отпущения тормозов. Если до момента освобождения тормозов сдвиг ветра не обнаружен, то следует приступить к разбегу и продолжать его до точки обнаружения.
- [6] Траектории полета и наборы данных TASS NASA были выбраны с таким расчетом, чтобы значения FVAR были близки к границе "ОПОВЕЩЕНИЕ ОБЯЗАТЕЛЬНО" и "ОПОВЕЩЕНИЕ ИСКЛЮЧЕНО", а также чтобы при некоторых микропорывах они попадали под критерии "ОПОВЕЩЕНИЕ ВОЗМОЖНО". Указанные случаи были выбраны для отражения характеристик этих микропорывов на стадии их нарастания, пика и затухания.

а. Добавление E в настоящем Руководстве не воспроизводится.

Отражающая способность, рассеяние, относительная сила вертикального и горизонтального поля ветра (данные по симметрии в вариантах 237, 349, и 614 и т. д.) могут относительно изменяться по мере нарастания и затухания микропорывов. Эти испытания призваны показать, что система невосприимчива к конкретным моделируемым взаимосвязям. Коэффициенты F для некоторых из этих случаев выбраны с таким расчетом, чтобы они приблизились к пороговому значению для сигнала "ОПОВЕЩЕНИЕ ОБЯЗАТЕЛЬНО". Однако в зависимости от порогового значения, выбранного для оповещения, ситуации, подпадающие под критерии "ОПОВЕЩЕНИЕ ВОЗМОЖНО", могут не привести к выдаче сигнала тревоги. Кроме того, некоторые из этих случаев призваны показать, что система не выдает мешающих сигналов оповещения, когда параметры сдвига ветра ниже границы, соответствующей "ОПОВЕЩЕНИЕ ИСКЛЮЧЕНО".

- [7] Испытательный полет на тренажере может начинаться на этапе взлета на высоте уборки шасси >50 футов AGL.
- [8] При осуществлении летных испытаний для сбора данных о радиолокационных помехах следует, по возможности, придерживаться указанной линии пути, внося коррективы в угол крена, но при этом угол крена должен быть не менее 20°.
- [9] Полеты с целью сбора данных об отражении сигналов РЛС от местных предметов следует выполнять в условиях, когда воздушное судно выдерживает максимальный безопасный угол скольжения при попытке моделирования 25-градусного угла сноса на этапе захода на посадку. Любое уменьшение этого угла (менее 25°) следует компенсировать приемлемыми методами корректировки.
- [10] Явления, когда микропорыв оказывается более сухим, чем микропорыв с коэффициентом отражения в его центре, равным 5 dBz, являются редкими случаями. Отражающая способность в 5 dBz соответствует 0,001 дюйма воды в час на поверхности. См. также обоснование для ситуаций №№ 540 и 545 для системы TASS NASA.

Добавление 8

ПРАВИЛА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Примечание. Нижеизложенный текст приводится с разрешения Метеорологического управления Соединенного Королевства.

**1. ЭМПИРИЧЕСКИЕ ПРАВИЛА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, ПРИМЕНЯВШИЕСЯ В
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ СОЕДИНЕННОГО КОРОЛЕВСТВА ПРИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ СДВИГА ВЕТРА В 1977 ГОДУ И МОГУЩИЕ
ПОСЛУЖИТЬ ПОЛЕЗНЫМ ПРИМЕРОМ ДЛЯ ДРУГИХ УЧРЕЖДЕНИЙ, ПЛАНИРУЮЩИХ
ПРОВЕДЕНИЕ ТАКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

СЛУЖБА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О СДВИГЕ ВЕТРА

Метеорологические критерии

Обозначения: V_{10} – приземный (10 м) ветер (вектор);

$V_{10} = |V_{10}|$ – скорость приземного ветра (скалярная);

V_G – градиентный (600 м или 2000 фут) ветер (вектор);

$V_G = |V_G|$ – скорость градиентного ветра (скалярная).

(а) Зимние эксперименты

Предупреждение должно передаваться при условии соблюдения любого из нижеприведенных критериев:

1) $V_{10} \geq 30$ уз;

2) $V_{10} \geq 10$ уз и $V_G - 2V_{10} \geq 25$ уз;

3) $V_{10} \leq 10$ уз и $|V_G - V_{10}| \geq 40$ уз;

4) $V_{10} \leq 10$ уз и $|V_G - V_{10}| \geq 30$ уз

и присутствия ниже 600 м изотермического или инверсионного слоя;

5) ГРОЗА (ГРОЗЫ) на расстоянии в пределах 20 км и/или КУЧЕВО-ДОЖДЕВАЯ ОБЛАЧНОСТЬ – в пределах 10 км от зоны захода на посадку/начального набора высоты;

- 6) ФРОНТАЛЬНАЯ ЗОНА ниже 600 м в зоне захода на посадку/начального набора высоты, при:
- а) изменении поперечного по отношению к фронтальной зоне вектора ветра на величину по меньшей мере 10 уз (отмечается либо на месте, либо на соседнем пункте измерения при прохождении фронта);
 - или б) разности температур поперек зоны по меньшей мере 5°C;
 - или с) скорости по меньшей мере 30 уз;
- 7) на высоте 600 м или ниже предполагается значительное СТРУЙНОЕ ТЕЧЕНИЕ НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ (отдельные правила содержатся в добавлении С^а);
- 8) в течение предшествующего часа получено ДОНЕСЕНИЕ (ДОНЕСЕНИЯ) С БОРТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ о сдвиге ветра на малых высотах.

(b) **Летние эксперименты**

Предупреждение должно передаваться при условии соблюдения любого из нижеприведенных критериев:

- 1) $V_{10} \geq 30$ уз;
- 2) критерий зимних опытов, не используемый во время летних опытов;
- 3) $|V_G - V_{10}| \geq 40$ уз;
- 4) $|V_G - V_{10}| \geq 30$ уз и ниже 600 м присутствует изотермический или инверсионный слой;
- 5) имеют место:
 - а) ГРОЗА (ГРОЗЫ) на расстоянии в пределах 10 км
 - б) КУЧЕВО-ДОЖДЕВАЯ ОБЛАЧНОСТЬ в пределах 5 км
 } с составляющей движения в направлении места измерения
- 6) в зоне захода на посадку/начального набора высоты имеют место ФРОНТАЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ или другое РЕЗКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ на высоте ниже 600 м при:
 - а) изменении поперечного по отношению к фронтальной зоне вектора ветра на величину по меньшей мере 10 уз, отмечающемся либо на месте, либо при прохождении через близлежащее место измерения;
 - или б) разности температур поперек поверхности по меньшей мере 5°C
 - или с) скорости по меньшей мере 30 уз;
- 7) на высоте 600 м или ниже предполагается значительное СТРУЙНОЕ ТЕЧЕНИЕ НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ (эти критерии не менялись по сравнению с зимними опытами);

а. Добавление С в настоящем руководстве не воспроизводится.

- 8) в течение предшествующего часа получено ДОНЕСЕНИЕ С БОРТА ВОЗДУШНОГО СУДНА о значительном сдвиге ветра на малых высотах.

Примечания

- 1) Форма предупреждения, передаваемого согласно правилам 1–7, должна быть следующей: “Ожидается сдвиг ветра ниже 2000 фут”.
- 2) Форма предупреждения передаваемого согласно правилу 8, должна быть следующей: “Сообщается о сдвиге ветра, который ожидается ниже 2000 фут”.

(с) Критерии струйного течения на малых высотах

Критерии подлежат проверке при сеансах наблюдения в 2100, 0000, 0300 и 0600 СГВ.

Следует предполагать присутствие струйного течения (ночного) на малых высотах, если обеспечивается соответствие всем нижеприведенным критериям:

- 1) время в диапазоне (заход солнца + 3 ч) – (восход солнца + 1 ч);
- 2) наземная инверсия или изотермический слой присутствуют и присутствовали в течение по крайней мере трех предыдущих сеансов наблюдения; и
$$T_a T_a (\text{макс}) - T_a T_a \geq 10 \text{ C};$$
- 3) $V_{10} \leq 10$ уз и $V_{10} (\text{макс}) \geq 10$ уз;
- 4) $V_G \geq 10$ уз и $V_G (\text{заход солнца}) \geq 10$ уз;
- 5) с 1200 СГВ никакие приземные фронты не проходили.

Примечания:

- 1) $V_{10} (\text{макс})$ и $T_a T_a (\text{макс})$ максимальные сообщенные значения V_{10} и $T_a T_a$ за время с 1300 по 1800 СГВ включительно (предыдущего дня). ($T_a T_a$ является приземной температурой (на высоте препятствия)).
- 2) Если обеспечивается соответствие всем критериям, следует предполагать присутствие струйного течения на малых высотах в пределах текущего часа и в последующие два часа, и предупреждения должны передаваться на протяжении 3-часового периода.

2. ДЕЙСТВУЮЩАЯ (1986) СЛУЖБА ОПОВЕЩЕНИЯ О СДВИГЕ ВЕТРА В ЛОНДОНСКОМ АЭРОПОРТУ ХИТРОУ И БЕЛФАСТСКОМ АЭРОПОРТУ АЛДЕРГРОУВ (HWAS). ВЫДЕРЖКА ИЗ РАЗДЕЛА MET-07 AIR СОЕДИНЕННОГО КОРОЛЕВСТВА.

2.1 Синоптики метеорологических органов в аэропортах ЛОНДОН/Хитроу и Белфаст/ Алдергроув проводят ежечасные наблюдения за условиями погоды и следят за донесениями с борта воздушных судов о случаях сдвига ветра при заходе на посадку или начальном наборе высоты. При наличии

потенциальных условий сдвига ветра на малых высотах передается экстренное оповещение на основе соблюдения одного или нескольких следующих критериев:

- a) средняя скорость приземного ветра не менее 20 уз;
- b) величина разности векторов между средним приземным ветром и градиентным ветром (расчетное значение ветра на высоте 2000 фут) не менее 40 уз; и
- c) наличие грозы (грозы) или ливневых дождей в пределах около 5 м. миль от аэропорта.

Примечание. Экстренные оповещения передаются также на основе недавних донесений пилотов о сдвиге ветра при заходе на посадку или начальном наборе высоты.

2.2 Экстренное оповещение включается в передачи ATIS в аэропорту Хитроу и передается по радиотелефонной связи для прибывающих и вылетающих воздушных судов в аэропорту Алдергроув в одном из трех форматов:

- a) "ПРОГНОЗИРУЕМЫЙ СДВИГ ВЕТРА". Оповещение о нем включается в тех случаях, когда метеорологические условия указывают на возможность встречи со сдвигом ветра на малых высотах при заходе на посадку или начальном наборе высоты (ниже высоты 2000 футов).
- b) "ПРОГНОЗИРУЕМЫЙ И СООБЩАЕМЫЙ СДВИГ ВЕТРА". То же, что и выше, но при этом прогноз подкрепляется донесением с борта по крайней мере одного воздушного судна о сдвиге ветра при заходе на посадку или начальном наборе высоты в пределах последнего часа.
- c) "СООБЩАЕМЫЙ СДВИГ ВЕТРА". Оповещение о нем включается, когда с борта воздушного судна сообщено о сдвиге ветра при заходе на посадку или начальном наборе высоты в пределах последнего часа, но метеорологических сведений недостаточно для передачи прогноза сдвига ветра.

2.3 Донесения пилотов о сдвиге ветра при заходе на посадку или начальном наборе высоты могут значительно повысить оперативность этой службы. Кроме того, они также содействуют постоянной оценке критериев, на основе которых прогнозируются данные для экстренного оповещения. Таким образом, пилотов, попадающих в условия сдвига ветра от умеренного до очень сильного при заходе на посадку или начальном наборе высоты, просят докладывать о таких случаях органу УВД, как только рабочая обстановка позволит это сделать. Критерии передачи донесений о сдвиге ветра приводятся ниже.

Сдвиг ветра

Пилоты, пользующиеся аэронавигационными системами, обеспечивающими непосредственные показания скорости ветра, должны сообщать в своих донесениях данные о ветре и абсолютной/относительной высоте над и под верхней и нижней границей слоя сдвига и его местонахождении. Остальные пилоты должны сообщать данные об уменьшении или увеличении воздушной скорости и/или присутствии восходящих или нисходящих потоках воздуха или значительных изменениях в воздействии бокового ветра, абсолютной/относительной высоте и местоположении, этапе полета и типе воздушного судна. Пилоты, которые не имеют возможности сообщать о сдвиге ветра с такой конкретной детализацией, должны приводить данные о воздействии сдвига ветра на воздушное судно, об абсолютной/относительной высоте, о местоположении и о типе воздушного судна, например: "Внезапный сдвиг ветра на высоте 500 фут QFE во время конечного этапа захода на посадку,

потребовалась максимальная тяга, самолет "Боинг-707". Пилотов, испытавших встречу со сдвигом ветра, просят сообщать о нем в своих донесениях даже в тех случаях, когда об этом сдвиге ветра ранее уже передавались прогнозы или сообщения о его присутствии.

Добавление 9

НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ, ИМЕЮЩИЕСЯ В ИКАО

(См. п. 6.3.5)

1. В целях оказания помощи государствам и эксплуатантам при разработке ими различных программ подготовки ИКАО располагает рядом наглядных учебных пособий, которые можно приобрести за соответствующую плату. Среди этих пособий – плакаты, некоторые из которых изготовлены в ИКАО, а другие переданы ИКАО Договаривающимися государствами.

2. Что касается сдвига ветра, то этой теме посвящен плакат "*Турбулентность во фронте вследствие порывов и сдвиг ветра*" (Р621). В нем обращается внимание на особую опасность связанных с грозами фронтов порывов. На плакате Р683 "*Сдвиг ветра. Микропорывы ветра*" подчеркивается, что лучше всего обходить те зоны, где наблюдаются микропорывы ветра, вызываемые сдвигом ветра. Имеется также плакат Р686 "*Микропорывы ветра. Сдвиг ветра*", на котором объясняются и иллюстрируются многие характерные особенности типичного микропорыва ветра вследствие сдвига ветра.

3. Недавно подготовлены посвященные предупреждениям о сдвиге ветра плакаты со следующими названиями:

- а) "Сдвиг ветра: предупреждение и оповещение";
- б) "Сдвиг ветра: правила для пилотов";
- в) "Сдвиг ветра: его причины".

Они размещены на вебсайте Исследовательской группы по метеорологическим предупреждениям (METWSG) по адресу:

<http://www.icao.int/anb/sg/METWSG>.

4. Эти наглядные пособия специально предназначаются для лиц, проходящих курс обучения. Полные сведения о всех имеющихся плакатах содержатся в *Каталоге изданий ИКАО*, который размещен на вебсайте по адресу:

<http://www.icao.int/icao/en/sales/index.html>.

Заказы на какие-либо учебные пособия следует направлять по адресу:

International Civil Aviation Organization
Attention: Customer Services Unit
999 University Street
Montréal, Quebec
H3C 5H7
Тел.: +1 514-954-8022
Факс: +1 514-954-6769
Эл. почта: sales@icao.int
Заказ онлайн: www.icao.int

Добавление 10

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРАВИЛА ДЛЯ САМОЛЕТА "БОИНГ-737". НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ УСЛОВИЯ ПОГОДЫ И НЕШТАТНЫЕ МАНЕВРЫ

(См. п.6.4.6)

Примечание. Нижеизложенный текст взят из руководства по летной эксплуатации самолета "Боинг-737" (2002) и воспроизводится с разрешения компании "Боинг".

СДВИГ ВЕТРА

Общие положения

Сдвиг ветра – это изменение скорости и/или направления ветра на небольшом участке траектории полета. Очень сильным сдвигом ветра считается тот, который приводит к изменению воздушной скорости более чем на 15 уз или вертикальной скорости более чем на 500 фут/мин.

Уклонение от встречи

Летному экипажу следует стремиться к обнаружению любых признаков присутствия сдвига ветра вдоль намеченной траектории полета. Необходимо держаться в стороне от грозовых очагов, зон интенсивных осадков и районов, в которых, по имеющимся данным, присутствует сдвиг ветра. При наличии признаков сдвига ветра следует задержать взлет или прервать заход на посадку.

На присутствие сдвига ветра могут указывать:

- грозовая активность;
- вирга – (дождь, который испаряется, не достигая земли);
- донесения пилотов (PIREP); и
- предупреждения, получаемые от системы оповещения о сдвиге ветра на малых высотах (LLWSAS).

Предотвращение

При подозрении на присутствие сдвига ветра следует соблюдать особую бдительность в отношении любых сигналов опасности и будьте готовы к возможной случайной встрече со сдвигом ветра.

Если подозревается присутствие сдвига ветра, рекомендуются следующие предупредительные меры:

Взлет

- Используйте максимальную взлетную тягу вместо уменьшенной.
- Производите взлет с самой длинной пригодной ВПП.
- Не используйте при взлете командный пилотажный прибор.
- Бдительно следите за любыми колебаниями воздушной скорости при взлете и начальном наборе высоты. Такие колебания могут быть первым признаком сдвига ветра.
- Выдерживайте такое положение самолета по тангажу, которое требуется при начальном наборе высоты со всеми работающими двигателями. При отрыве носового колеса увеличивайте угол тангажа с нормальной угловой скоростью до указанного положения при всех взлетах, не сопровождающихся отказом двигателя. Сводите к минимуму уменьшение угла тангажа при начальном наборе высоты до тех пор, пока не будет достигнута безопасная высота пролета над землей и препятствиями, если только при этом не срабатывает автомат тряски ручки управления.
- Очень важны координация действий членов экипажа и знание ими обстановки. Выработайте навыки слежения за нормальной воздушной скоростью, пространственным положением, вертикальной скоростью и увеличением воздушной скорости. Внимательно следите за показаниями приборов вертикального движения воздушного судна на траектории полета – вариометром и высотомером. Пилоту, не осуществляющему пилотирование, следует особенно тщательно следить за показаниями приборов вертикального движения воздушного судна и оповещать о любых отклонениях от нормы.
- В случае падения воздушной скорости ниже значения скорости, обеспечивающей балансировку, может потребоваться приложение необычных усилий для сохранения заданного положения по тангажу. Во всех случаях необходимо принимать во внимание сигналы автомата тряски.
- Если встреча со сдвигом ветра произошла где-то около достижения скорости подъема передней опоры шасси (VR), а воздушная скорость внезапно начала падать, остатка ВПП может не хватить для разгона до нормального значения VR. Если оставшейся длины ВПП недостаточно для остановки при прерванном взлете, начинайте нормальный подъем передней опоры не ближе чем за 2000 фут до конца ВПП, даже если воздушная скорость мала. Для отрыва на оставшемся участке ВПП могут потребоваться увеличенные, по сравнению с нормальными, углы тангажа.

Заход на посадку и посадка

- Выбирайте минимальное положение посадочных щитков-закрылков с учетом длины летной полосы.

- Произведите соответствующую корректировку воздушной скорости (корректировка производится таким же образом, как при порывах), при этом максимальная скорость не должна превышать наименьшего из значений $V_{исх} + 20$ уз или максимально допустимой скорости полета с закрылками в посадочном положении минус 5 уз.
- Избегайте значительного уменьшения тяги или изменения положения триммера в ответ на внезапное возрастание воздушной скорости, так как за ним может последовать падение воздушной скорости.
- Перепроверяйте указания командного пилотажного прибора по приборам вертикального движения.
- Очень важны координация действий членов экипажа и знание ими обстановки, особенно ночью и при неблагоприятных условиях погоды. Внимательно следите за показаниями таких приборов вертикального движения воздушного судна, как вариометр, высотомер и индикатор отклонения от глиссады. Пилоту, не осуществляющему пилотирование, следует оповещать о любых отклонениях от нормы. Использование автопилота и автомата тяги при заходе на посадку может обеспечить дополнительное время для слежения за обстановкой и распознавания условий сдвига ветра.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ О СДВИГЕ ВЕТРА

Прогнозирующее предупреждение о сдвиге ветра во время разбега при взлете (голосовое предупреждение "ВПЕРЕДИ СДВИГ ВЕТРА, ВПЕРЕДИ СДВИГ ВЕТРА"):

- до достижения скорости V_1 — прервите взлет;
- после достижения скорости V_1 — выполняйте маневр уклонения от сдвига ветра.

Встреча со сдвигом ветра во время разбега для взлета:

- При встрече со сдвигом ветра до достижения скорости V_1 остатка ВПП может не хватить для остановки, если прекращение взлета начинается при скорости V_1 . При скорости V_R выполняйте подъем носового колеса с нормальной угловой скоростью до угла тангажа 15° . После отрыва выполняйте маневр уклонения от сдвига ветра.
- Если встреча со сдвигом ветра происходит где-то около достижения нормальной скорости подъема передней опоры, а воздушная скорость внезапно падает, остатка ВПП может не хватить для разгона до нормальной скорости взлета. Если оставшейся длины ВПП недостаточно для остановки при прерванном взлете, начинайте нормальный подъем передней опоры не ближе чем за 2000 фут до конца ВПП, даже если воздушная скорость мала. Для отрыва на оставшемся участке ВПП могут потребоваться увеличенные, по сравнению с нормальными, углы тангажа. Убедитесь в том, что установлена максимальная тяга.

Прогнозирующее предупреждение о сдвиге ветра во время захода на посадку (голосовое предупреждение "УХОДИТЬ НА ВТОРОЙ КРУГ, ВПЕРЕДИ СДВИГ ВЕТРА"):

- выполняйте маневр уклонения от сдвига ветра или, по усмотрению пилота, нормальный уход на второй круг.

Встреча со сдвигом ветра в полете:

- выполняйте маневр уклонения от сдвига ветра.

Примечание. Нахождение самолета в зоне сдвига ветра указывает следующее:

- предупреждение о сдвиге ветра (двухтональный сигнал сирены, после которого следует “СДВИГ ВЕТРА, СДВИГ ВЕТРА, СДВИГ ВЕТРА”) или
- неприемлемые отклонения от траектории полета.

Примечание. Неприемлемыми отклонениями от траектории полета считаются не связанные с управлением отклонения от условий нормального установившегося режима полета на высоте ниже 1000 фут над уровнем земли, превышающие следующие значения:

- приборная воздушная скорость 15 уз;
- вертикальная скорость 500 фут/мин;
- угол тангажа 5°;
- отклонение от глиссады на одно деление;
- необычное положение рычага управления двигателем в течение значительного периода времени.

МАНЕВР УКЛОНЕНИЯ ОТ СДВИГА ВЕТРА

ПИЛОТ, ЗАНЯТЫЙ ПИЛОТИРОВАНИЕМ

ПИЛОТ, НЕ ЗАНЯТЫЙ ПИЛОТИРОВАНИЕМ:

Полет в ручном режиме:

- Отключить автопилот;
 - нажать на переключатель режимов ТО (ВЗЛЕТ) или GA (УХОД НА ВТОРОЙ КРУГ) ;
 - энергично увеличивать тягу до максимальной*;
 - отключить автомат тяги;
 - путем изменения угла крена привести крылья в горизонтальное положение и одновременно увеличить или уменьшить угол тангажа до исходного значения 15°;
 - убрать аэродинамические тормоза;
 - следовать указаниям командного пилотажного прибора в отношении ТО/GA (если таковые обеспечиваются).
- Проконтролировать применение максимальной* тяги;
 - проверить выполнение всех требуемых действий и сообщить о любых упущениях.

Полет в автоматическом режиме:

- Нажать на переключатель режимов TO или GA**;
 - проверить объявление о переходе на режим TO/GA;
 - проверить увеличение тяги до мощности, необходимой для ухода на второй круг;
 - убрать аэродинамические тормоза;
 - отслеживать характеристики системы***;
 - не изменять конфигурацию закрылков или шасси до тех пор, пока не минует угроза сдвига ветра;
 - отслеживать вертикальную скорость и высоту;
 - не пытаться восполнить потерю воздушной скорости до тех пор, пока не минует угроза сдвига ветра.
- Отслеживать вертикальную скорость и высоту;
 - сообщать о любой тенденции к столкновению с землей, снижению траектории полета или значительным изменениям воздушной скорости.

Примечание. По мере уменьшения воздушной скорости увеличивается усилие на ручке управления по направлению назад. Во всех случаях угол тангажа, вызывающий прерывистую вибрацию ручки управления или начальную стадию тряски (бафтинга), является верхним пределом угла тангажа. Для обеспечения безопасного интервала с землей может потребоваться режим полета при прерывистом срабатывании автомата тряски. Плавное, равномерное управление по тангажу позволит избежать чрезмерного увеличения угла тангажа и сваливания.

** Примечание. Максимальная тяга означает "максимальную сертифицированную тягу". Если двигатели не оснащены электронными средствами ограничения тяги, то к чрезмерной даче газа или "нажатию РУД до отказа" следует прибегать лишь в аварийных ситуациях, когда все другие возможные меры уже приняты и столкновение с землей неизбежно.*

*** Примечание. При отсутствии режимов TO/GA отключите автопилот и автомат тяги и переходите на режим ручного управления полетом.*

*****ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ.** Очень сильный сдвиг ветра может превысить характеристики системы AFDS. Пилот, занятый пилотированием, должен быть готов *отключить* автопилот и автомат тяги и перейти на ручное управление.

ГЛОССАРИЙ ТЕРМИНОВ

ВСЗП	Всемирная система зональных прогнозов
ИНС	Инерциальная навигационная система
ЛИДАР	Доплеровская система светового обнаружения и определения дальности
ПНЗП	Пилот, не занятый пилотированием
СОДАР	Система звукометрического обнаружения и измерения дальности
СТП	Стандартная техника пилотирования
ТЯН	Турбулентность при ясном небе
ФАУ/НАСА	Федеральное авиационное управление/Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства Соединенных Штатов Америки
AGL	Над уровнем земли
AIDS	Комплексные системы сбора данных
AIP	Сборник аэронавигационной информации
ARINC	Фирма "Аэронавигационная радио инк."
ATCO	Диспетчер управления воздушным движением
ATIS	Служба автоматической передачи информации в районе аэродрома
ATP	Линейный пилот авиакомпании
AVOSS	Система эшелонирования воздушных судов с учетом спутных вихрей
AWARE	Усовершенствованные правила передачи предупреждений о сдвиге ветра на основе данных анемометров
AWAS	Система анализа ветра AVOSS
CLAWS	Классификация, определение местонахождения и избегание сдвига ветра
CSPR	Близкорасположенные параллельные ВПП
CP	Пилот коммерческой авиации
EDR	Скорость затухания вихря
FPI	Индикатор траектории полета
GOES	Геостационарный оперативный спутник для исследования окружающей среды
GS	Путевая скорость
HUD	Индикатор на лобовом стекле
ITWS	Комплексная аэродромная метеорологическая система
JAWS	Совместные исследования погоды в аэропортах
LATAS	Лазерная система определения истинной воздушной скорости
LLWAS	Система оповещения о сдвиге ветра на малых высотах
LLWAS-NE	LLWAS с расширенной сетью
LLWAS-RS	LLWAS с перебазируемым и более надежным оборудованием
LOFT	Летная подготовка в условиях, приближенных к реальным
MBAs	Оповещения о микропорывах
MEL	Перечень минимального оборудования
MIGFA	Автоматизированный интеллектуальный алгоритм обнаружения фронтов
MIST	Микропорыв и сильная гроза
MIT/LL	Лаборатория имени Линкольна Массачусетского технологического института
MTI	Индикатор движущихся целей
MTW	Горная волна
NCAR	Национальный центр Соединенных Штатов Америки по исследованию атмосферы
NEXRAD	Метеорологическая РЛС следующего поколения

NIMROD	Метеорологические исследования в области нисходящих потоков в Северном Иллинойсе
OWWS	Система оперативного предупреждения о сдвиге ветра
PFP	Потенциальная траектория полета
PIREPs	Донесения пилотов
PP	Пилоты-любители
PPI	Индикатор кругового обзора
SIGWX	Особые явления погоды
SMRP	Научно-исследовательский проект изучения мезометеорологических процессов с помощью спутников
TAS	Истинная скорость
TASS	Система моделирования условий в районе аэродрома
TCWF	Аэродромная система прогнозирования конвективных метеоявлений
TDWR	Аэродромный доплеровский метеолокатор
TRACON	Радиолокационное управление заходом на посадку в зоне аэродрома
TWIP	Информация о погодных условиях в зоне аэродрома для пилотов
VIL	Вертикально интегрированная жидкость
VIP	Интегратор и процессор видеосигналов
WIND	Скорость ветра вдоль линии пути
WISTSG	Исследовательская группа по сдвигу ветра и турбулентности на малых высотах
WSMD	Обнаружение сдвига ветра и микропорывов
WSP	Процессор метеорологической системы

БИБЛИОГРАФИЯ

Fujita. *The Downburst*. SMRP Research Paper No. 210. Library of Congress No. 85-50115. 1985.

Huschke (Ed.). *Glossary of Meteorology*. American Meteorological Society. 1959.

Kermode. *Mechanics of Flight*. Pitman Publishing. 1976 Edition. ISBN 0 273 31623 0.

Kraupse. Contributions on the subject of longitudinal movement of aircraft in wind shear. NASA Technical Memorandum NASA TM-77837. June 1985.

McIntosh. *Meteorological Glossary*. ISBN No. 11 400208 8. Her Majesty's Stationery Office. 1972.

Pettersen. *Weather Analysis and Forecasting*. McGraw Hill. Library of Congress No. 55-11568. 1956.

Report by the United States National Academy of Sciences Committee on Low Altitude Wind Shear and its Hazard to Aviation. National Academy Press. Washington, D.C., Library of Congress No. 83-63100.

Stewart. *The Atmospheric Boundary Layer*. Third WMO lecture (1979). WMO ISBN 92-63-10523-5.

Sutton. *The Science of Flight*. Penguin Books. 1949.

Wind Shear and Flight Safety. A select bibliography. United Kingdom Civil Aviation Authority Paper No. 86003. 1986.

— КОНЕЦ —

