

ЦИРКУЛЯР ИКАО

Циркуляр 186-AN/122



СДВИГ ВЕТРА

*Утверждено Генеральным секретарем
и опубликовано с его санкции*

МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
МОНРЕАЛЬ • КАНАДА

Опубликовано Международной организацией гражданской авиации отдельными изданиями на английском, французском, испанском и русском языках. Вся корреспонденция следует направлять в адрес Генерального секретаря ИКАО: 1000 Sherbrooke Street West, Suite 400, Montreal, Quebec, Canada H3A 2R2.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В период 1964-1983 годов* в качестве причины по меньшей мере 28 авиационных происшествий/инцидентов с тяжелыми транспортными воздушными судами, в результате которых в общей сложности погибло свыше 500 и было ранено 200 человек, приводился сдвиг ветра на малых высотах. Возросшая осведомленность среди авиационных кругов в отношении опасной и коварной природы явления сдвига ветра на малых высотах находит отражение в том факте, что это явление рассматривается Советом ИКАО как одна из главных технических проблем, стоящих перед авиацией.

Нехватка соответствующего эксплуатационным требованиям оборудования дистанционного обнаружения, сложность вопроса, широкомасштабность явления сдвига ветра с присущим ему непостоянством - все это в совокупности препятствует полному решению данной проблемы, которая, в свою очередь, до сих пор сдерживает 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 году из-за сдвига ветра имели место пять происшествий/инцидентов с реактивными транспортными воздушными судами, причем одно из них привело к большому количеству жертв. Это авиационное происшествие, случившееся в международном аэропорту имени Джона Кеннеди (Нью-Йорк) 24 июня 1975 года и случившееся вслед за ним шесть недель спустя авиационное происшествие в Денвере 7 августа 1975 года, которое, к счастью, обошлось без жертв и имело место в районе, где представилось возможным всесторонне контролировать поле ветра, по всей видимости, будут рассматриваться в будущем как своего рода поворотный пункт в истории изучения проблемы сдвига ветра. Подробный и исчерпывающий анализ той роли, которую сыграл в указанных происшествиях сдвиг ветра, позволил устранить последние сомнения, которые могли еще оставаться в отношении реальной опасности сдвига ветра. Последовавшие за этим ускоренные исследования, кульминацией которых явилось осуществление в 1982 году а аэропорту Стэплтон (Денвер, штат Колорадо) широкомасштабного проекта "Объединенные исследования погоды в аэропортах" (JAWS), значительно углубили и продолжают углублять наше понимание проблемы, особенно в отношении сдвига ветра, связанного с грозовой деятельностью.

На проходившей в Монреале в 1974 году восьмой аэронавигационной конференции [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, кульминацией чего явилась публикация настоящего циркуляра, была учреждена Исследовательская группа по сдвигу ветра и турбулентности на малых высотах (WIST). При содействии этой Группы был разработан перечень эксплуатационных требований в отношении наблюдения за сдвигом ветра и турбулентностью об этих явлениях. 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 года.

* В 1983 год является последним полным годом, за который на момент публикации настоящего циркуляра имеются отчеты в банках данных ИКАО об авиационных происшествиях/инцидентах.

После проведения интенсивных исследований, указанных выше, удалось разработать поправку 64 к Приложению 3 - Метеорологическое обеспечение международной авиации, которая начала применяться в ноябре 1983 года и которая содержит, помимо прочего, новые и пересмотренные действующие положения в отношении наблюдения и представления за сдвигом ветра на малых высотах и сообщения о нем. Одновременно были несколько видоизменены эксплуатационные требования, новая редакция которых приведена в добавлении А к настоящему циркуляру.

В 1982 году на совместном заседании подкомиссий по вопросам расследования и надзора и по вопросам транспорта, авиации и материалов Комиссии по науке и технике палаты представителей конгресса США состоялись слушания по вопросу о влиянии метеорологических проблем на авиацию, включая сдвиг ветра. После этого Федеральное авиационное управление (ФАУ) заключило с Национальной академией наук контракт на "изучение наличия 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* и его опасности для авиации. Комитет подготовил весьма содержательный доклад, а также ряд выводов и рекомендаций [17]. Этот доклад оказался значительным подспорьем при подготовке настоящего циркуляра; рекомендации, выработанные Комитетом, приводятся в добавлении С.

С 1967 года в рамках ФАУ осуществляется детальная программа действий, направленных на уменьшение опасности сдвига ветра на малых высотах. Согласно этой общей программе проведены или проводятся мероприятия в соответствии с рекомендациями Комитета, упомянутыми выше, а также с рекомендациями, поступающими время от времени от Национального комитета по безопасности перевозок в результате расследований авиационных происшествий. В этом отношении ФАУ разрабатывает "Комплексную программу по сдвигу ветра", предполагающую тесное взаимодействие с рядом правительственных учреждений (например, с Национальным управлением по авионавигации и исследованию космического пространства), с авиационно-космической промышленностью в самом широком смысле, с ассоциациями пилотов и ИКАО. Целью программы является 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. Одновременно будет проводиться дальнейшее выяснение опасности сдвига ветра на основе продолжающихся научных исследований. В соответствующих главах настоящего циркуляра более подробно рассматриваются целевые подпрограммы.

Многие аспекты вопроса о сдвиге ветра подвержены большим изменениям в силу постоянно ведущихся на широком фронте и в большинстве случаев ускоренными темпами всесторонних научных исследований. Настоящий циркуляр охватывает наиболее насущные аспекты этого вопроса, а также рассматривает все главные направления работ. Однако, учитывая динамический характер вопроса, циркуляр дает всего лишь "выборку", хотя и в достаточной степени подробную, показывая состояние дел на 1986 год. Таким образом, читатель должен иметь в виду, что данный материал не следует считать последним словом в области сдвига ветра; скорее это нечто вроде доклада о положении дел. Он предназначен способствовать более широкому пониманию вопроса и предлагать указания, иногда в виде обширных ссылок, в помощь тем, кто желает более углубленно изучать данный вопрос.

* Приводимая в этом месте в английском издании настоящего циркуляра сноска касается только английского текста.

Наконец, следует подчеркнуть, что положения регламентирующих документов ИКАО, касающиеся сдвига ветра, отражают лишь минимальный уровень разработок, учитывая объем имеющейся информации и продолжающийся дефицит рабочего оборудования дистанционного обнаружения. 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. Целью настоящего циркуляра является обобщение этой информации и представление ее в сводной форме, что позволит специалистам, занимающимся эксплуатационными аспектами авиации, глубже осознать ту опасность, которую сдвиг ветра представляет для воздушных судов.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Международная организация гражданской авиации выражает свою признательность за разрешение опубликовать большое число из содержащихся в настоящей работе иллюстраций и цитат следующим организациям и лицам:

Федеральному авиационному управлению министерства транспорта США, Королевскому метеорологическому обществу (Лондон), отделению геофизических наук Чикагского университета, Национальному центру по исследованию атмосферы, работающему под эгидой Национального научного фонда (США), д-ру А.А.Вудфилду, Всемирной метеорологической организации, Национальному управлению по исследованиям в океане и атмосфере, гг. Т.П.Гразулису и Р.Ф.Эбби, министерству торговли США, Национальной аэрокосмической лаборатории Нидерландов, гг. К.А.Уитмору и Р.К.Коукли, гг. Л.О.Турессону и Дальквисту, издательству "Академик пресс инкорпорейтед", гг. Б.С.Тэркею, П.А.Кесселю и У.Фросту, ревизору Управления по изданию официальных документов (Лондон), фирме "Боинг эрспейс компани" и Управлению гражданской авиации (Лондон). Рисунки 5-7 и 5-12 помещены с разрешения Фонда просвещения Хелен Дуайт Рид; они опубликованы издательством "Хелдрейф паббликейшн" (Вашингтон, США), в 1982 году и охраняются авторским правом. Текст с описанием торнадо в п.3.5.5.2 перепечатан из работы Джона Т. Сноу "Торнадо", опубликованной издательством "Сайентифик америкен инкорпорейтед" в 1984 году и охраняемой авторским правом.

СОДЕРЖАНИЕ

	<u>Стр.</u>
Глава I. Введение	1
Глава 2. Характеристики сдвига ветра на малых высотах	3
2.1 Ветер в атмосфере	3
2.2 Изменение ветра в пространстве – сдвиг ветра	3
2.3 Расчет сдвига ветра	5
2.4 Единицы измерения сдвига ветра	6
2.5 Ограничения при практическом применении методов расчета сдвига ветра	9
Глава 3. Метеорологические условия и явления, вызывающие сдвиг ветра на малых высотах	11
3.1 Профиль ветра в нижних слоях атмосферы	11
3.2 Ветер, обтекающий препятствия	16
3.3 Поток воздуха, связанный с фронтальными поверхностями	20
3.4 Береговой/морской бриз	23
3.5 Грозы	24
3.6 Климатология конвективного сдвига ветра	44
3.7 Статистические данные о сдвиге ветра на малых высотах вблизи аэродромов	47
3.8 Спутные вихри	51
3.9 Аэродинамические потери при сильном дожде	51
Глава 4. Влияние сдвига ветра на малых высотах на летные характеристики воздушных судов	53
4.1 Общие положения	53
4.2 Летные характеристики воздушных судов в конкретных условиях сдвига ветра	62
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	75
Глава 5. Наблюдение, прогнозирование сдвига ветра на малых высотах и передача сообщений о нем	103
5.1 Наблюдение сдвига ветра – с земли и в полете	103
5.2 Прогнозирование сдвига ветра	114
5.3 Передача сообщений о сдвиге ветра	138
Глава 6. Научные исследования и разработки	149
6.1 Общие положения	149
6.2 Разрабатываемое или предлагаемое оборудование	149
6.3 Перспективные системы	151

	<u>Стр.</u>
Глава 7. Подготовка персонала	156
7.1 Общие положения	156
7.2 Цели подготовки летных экипажей	157
7.3 Наземная подготовка летных экипажей	157
7.4 Летная подготовка и подготовка на тренажере	158
7.5 Подготовка персонала УВД	160
7.6 Подготовка метеорологов	160
7.7 Аспекты подготовки по вопросам передачи сообщений о сдвиге ветра	161
7.8 Резюме	162
Добавление А. Перечень эксплуатационных требований	164
Добавление В. Термины и их разъяснение	166
Добавление С. Рекомендации Комитета по сдвигу ветра на малых высотах и его опасности для авиации Национальной академии наук Соединенных Штатов Америки	169
Добавление D. Математический анализ влияния сдвига ветра на подъемную силу	174
Добавление Е. Дополнительные правила для самолета "Боинг-737". Неблагоприятные условия погоды. Выдержка из Руководства по летной эксплуатации самолета "Боинг-737"	178
Добавление F. Эмпирические правила прогнозирования, применявшиеся в Метео- рологическом управлении Соединенного Королевства при экспериментальном прогнозировании ветра в 1977 году и могущих послужить полезным примером для других учреждений, планирующих проведение таких экспериментов	182
Добавление G. Выдержка из <u>Руководства ИКАО по обучению</u> , часть В-5, том 2, Методические разработки для инструктора	186
Добавление H. Предлагаемые ИКАО аудио-визуальные учебные пособия	188
Библиография	189
Справочные материалы	190

Глава I

ВВЕДЕНИЕ

I.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 конкретном контексте тот общий знаменатель, который связывает такие разнообразные явления, необходимо разъяснить значение самого термина "сдвиг ветра". Наиболее общее определение сдвига ветра выглядит следующим образом: "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.

I.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.

I.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 высоте ниже 500 м (1600 фут) особенно важно для воздушных судов, производящих посадку и взлет. На этапах начального набора высоты и захода на посадку значення воздушной скорости и относительной высоты воздушного судна близки к критическим, благодаря чему воздушное судно особенно восприимчиво к неблагоприятному воздействию сдвига ветра. Как станет ясно из последующих глав настоящего циркуляра, 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.

I.4 После того как мы привлекли внимание к преобладающему присутствию сдвига ветра в атмосфере и его потенциальной опасности для воздушных судов, для рассмотрения данного вопроса в должной перспективе следует помнить, что, учитывая большое число посадок и взлетов воздушных судов во всем мире, лишь немногие воздушные суда когда-либо сталкивались с трудностями, приведшими к авиационному происшествию, и в отношении лишь незначительной доли таких происшествий сдвиг ветра является одним из факторов, способствовавших созданию аварийных условий. Тем не менее уже сам факт, что сдвиг ветра в прошлом оказывал хоть какое-то влияние на авиационные происшествия, может служить достаточным

основанием для того, чтобы все лица, связанные с производством полетов, хорошо 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 В АТМОСФЕРЕ

2.1.1 Простейшим определением ветра является: "движение воздуха относительно земной поверхности". В соответствии с таким определением ветер может свободно дуть в трехмерном пространстве; именно так это и происходит. Обладая скоростью и направлением, ветер должен рассматриваться как вектор, который можно разложить на три ортогональные составляющие. Если данный вектор берется 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). 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. В условиях преобладания горизонтальных составляющих мы, говоря о ветре, склонны считать, что горизонтальный ветер дует параллельно поверхности земли, игнорируя, таким образом, вертикальную составляющую. Особые случаи, о которых говорилось выше, когда преобладает вертикальная составляющая, отмечаются, не считая прочих явлений, при конвективных грозах, горных волнах и восходящих потоках теплого воздуха; причем первые два явления, имеющие самое непосредственное отношение к сдвигу ветра, подробно рассматриваются в главе 3.

2.1.2 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 и объясняется тот факт, что при последующем рассмотрении сдвига ветра основной упор обычно делается на изменения встречной/попутной (продольной) составляющей ветра, за исключением уже упоминавшихся особых случаев, когда преобладает вертикальная составляющая (восходящий/нисходящий поток).

2.2 ИЗМЕНЕНИЕ ВЕТРА В ПРОСТРАНСТВЕ – СДВИГ ВЕТРА

2.2.1 В приводимом во введении разъяснении сдвига ветра изменения, 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, тем не менее, 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.

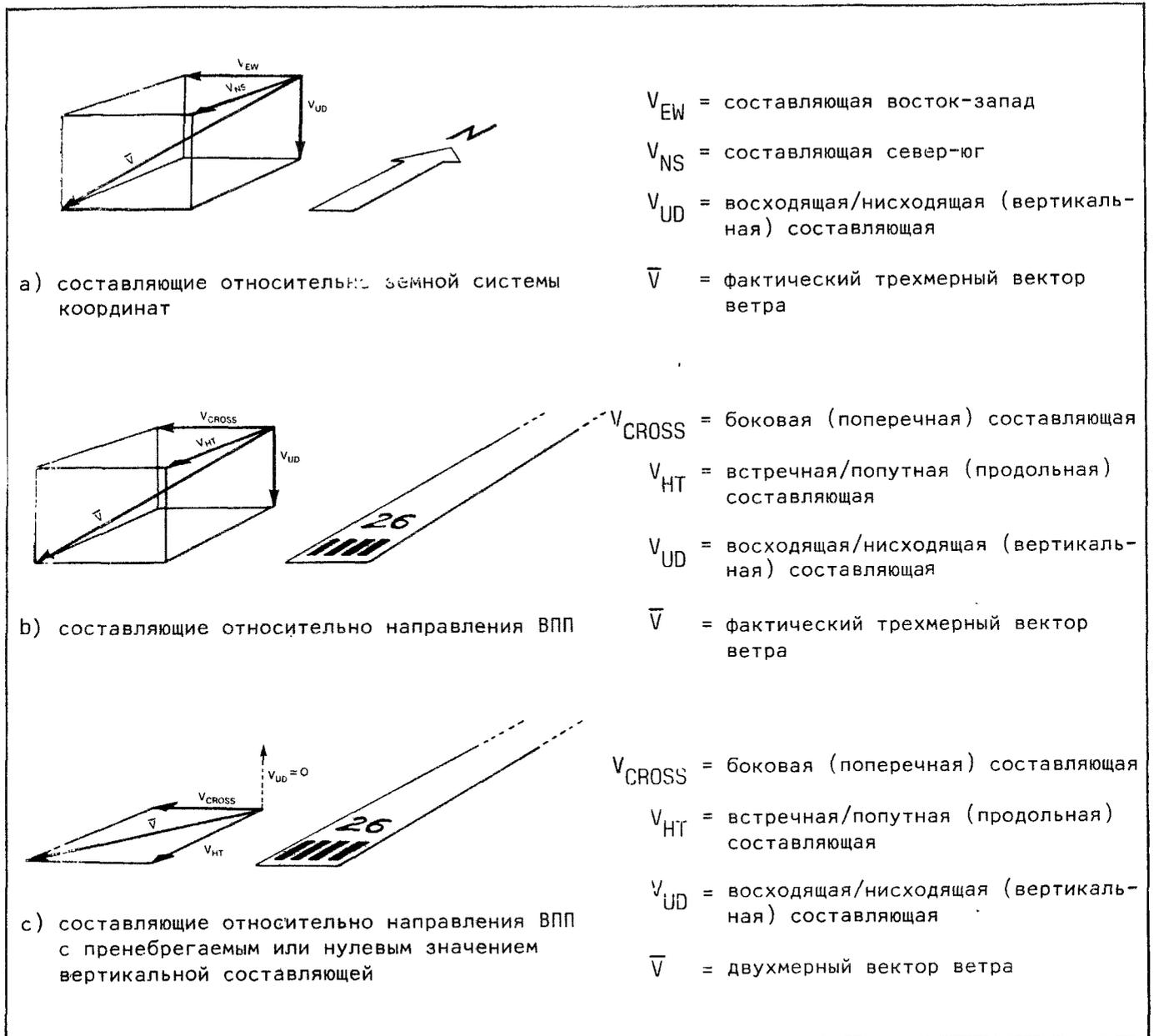


Рис. 2-1. Составляющие ветра

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. Этот момент упомянут потому, что у некоторых до сих пор существует ошибочное представление о том, что сдвиг ветра — это просто одна из форм турбулентности при ясном небе. Важно с самого начала уяснить, что сдвиг ветра такого масштаба, который воздействует на летные характеристики воздушного судна, не всегда может быть отождествлен с турбулентностью [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 совместных единиц. Расчет сдвига может быть выполнен графически с использованием треугольника скоростей или путем вычитания составляющих двух векторов ветра вручную, при помощи ЭВМ или тригонометрически. Рассмотрим, например, ветер V_1^* 240° , 30 узл. в точке А на высоте 1000 фут над уровнем земли (AGL), изменяющийся на V_2 220° , 10 узл. в точке В на высоте 500 фут AGL. На рис. 2-2 I вектор сдвига ветра вычисляется графически путем вычитания двух векторов ветра ($V_2 - V_1$) или ($V_1 - V_2$); показано также его соотношение с "резльтирующим" вектором ветра, который получается от сложения двух векторов ветра ($V_1 + V_2$). Результат может действовать только в одном направлении, потому что $(V_1 + V_2) = (V_2 + V_1)$, 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 $(V_2 - V_1) \neq (V_1 - V_2)$, за исключением ординарного случая, когда $V_1 = V_2$, 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 представляет значительную важность в плане его влияния на воздушное судно. Этот вопрос подробно рассматривается в главе 4, но даже на данном этапе нетрудно заметить, что в приведенном выше примере вектор сдвига ветра при посадке направлен от точки А к точке В и будет соответствовать $(V_2 - V_1)$, тогда как для взлета он будет направлен от В к А ($V_1 - V_2$), то есть оба вектора будут иметь одинаковую скорость, однако каждый из них будет направлен в противоположную другому сторону. На рис. 2-2 II (а) и (б) разность векторов вычисляется 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 (см. рис. 2-2 IIb)).

2.3.3 Предыдущий пример иллюстрирует сдвиг ветра по вертикали, как если бы производились замеры одним анемометром на высоте 1000 фут, а другим на 500 фут над уровнем земли. Такой же расчет можно было сделать для сдвига ветра по горизонтали, то есть если бы те же два анемометра были разнесены (на 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 ветра, а его направление снова зависело бы от того, перемещается ли наблюдатель от А к В или от В к А, как в предыдущем примере.

* Вектор обозначен буквой V, напечатанной жирным шрифтом.

2.3.4 Трудно переоценить тот факт, что сдвиг ветра – это вектор, и поэтому должны приниматься в расчет и скорость 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 В примере, показанном на рис. 2-2, сдвиг ветра между точками А и В составляет $70^\circ/2I$ узл., а сдвиг между точками В и А – $250^\circ/2I$ узл. Интенсивность сдвига в обоих случаях составляет $2I:5 = 4,2$ узл. 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, так как эти единицы удобны и хорошо знакомы авиационному персоналу. В особом 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 узл./100 фут или м/с/30 м в узл./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) [27].

2.4.2 Другие единицы измерения сдвига ветра, которые часто используются учеными и поэтому встречаются в исследовательских работах и научных публикациях, могут быть получены путем пространственного анализа, как видно из следующего:

Сдвиг ветра = (столько-то) узлов на 100 фут, то есть $\frac{\text{единицы скорости}}{\text{единицы расстояния}} = \frac{L/T}{L} = \frac{1}{T} = T^{-1}$,

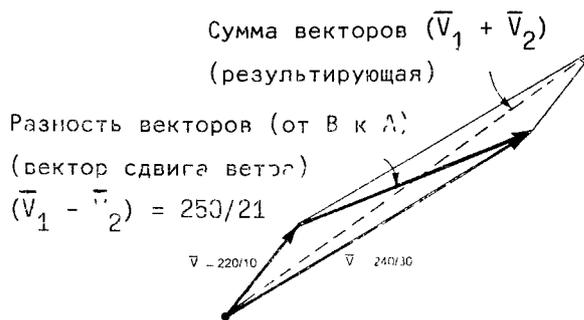
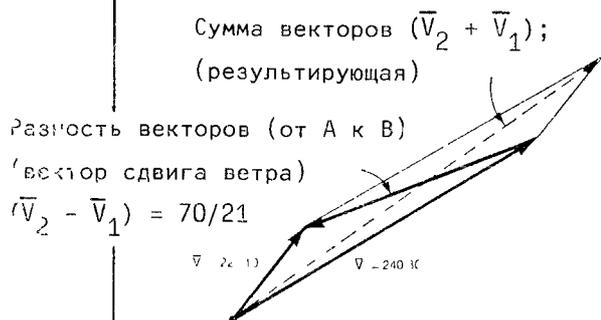
где L = расстояние, а
 T = время;

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

2.4.3 Резюмируя три способа выражения интенсивности сдвига ветра, рассмотренные выше в рамках примера на рис. 2-2, в случае, когда ветер меняется с V_1 в точке А на V_2 в точке В (например, при посадке воздушного судна), а вектор сдвига ветра между точками А и В составляет $70^\circ/2I$ узл. на 500 фут, получаем:

- а) интенсивность в узлах/100 фут = $4,2$ узл./100 фут;
- б) та же самая интенсивность в научных единицах = $0,07 s^{-1}$, и
- в) интенсивность, которая может воздействовать на воздушное судно, производящее посадку, в узл./с для глиссады с углом наклона 3° при путевой скорости 150 узл. (то есть при вертикальной скорости снижения 13 фут/с = $0,546$ узл./с.)

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, $V_1 = 240/30$	+26	+15
500 фут AGL точка В, $V_2 = 220/10$	+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) $= V_2 - V_1$

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

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

Разность величин (скорости) векторов $V_2 - V_1 = \sqrt{(-19,6)^2 + (-7,3)^2} = 20,9 = 21 \text{ узл.}$

Разность направлений векторов $V_2 - V_1 = \text{tg}^{-1} \frac{(-7,3)}{(-19,6)} = 20^\circ$

Поскольку обе составляющие разности векторов (сдвига) отрицательны, направление вектора сдвига ветра - из северо-восточного квадранта, и поскольку составляющая восток-запад больше составляющей север-юг, направление $= (90 - 20) = 70^\circ$

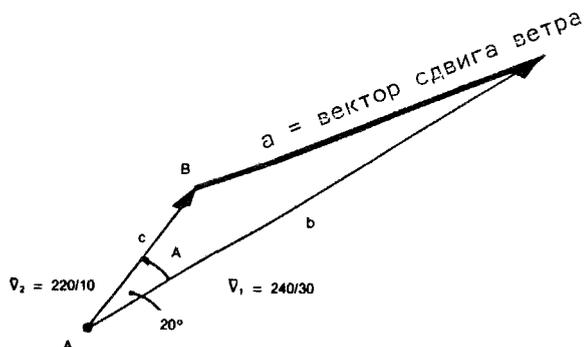
Вектор сдвига ветра от точки А к точке В (посадка) $= 70/21$

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

Рис. 2-2. Расчет сдвига ветра

II.

b) путем вычислений с применением тригонометрических методов



В данном случае две стороны треугольника известны и образуют угол; сторона "b" = 30, сторона "c" = 10, а угол, заключенный между направлениями векторов ветра V_1 и V_2 , равен $240^\circ - 220^\circ$

$$A = 20^\circ$$

Согласно основам тригонометрии, в таком треугольнике

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

(где "a" - величина разности векторов (сдвиг))

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

Теперь известны все 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 = $(180^\circ - 150^\circ + 40^\circ) = 70^\circ$ (или обратный угол 250° в зависимости от порядка вычитания векторов ветра)

Рис. 2-2. (продолжение)

Здесь 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 годовых графиков 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 $V_1 - V_2$ 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.

2.5 ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ПРАКТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СДВИГА ВЕТРА

2.5.1 Методы расчета сдвига ветра, описанные в п. 2.3, могут, разумеется, 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 в предыдущем примере и представленных на рис. 2-2.

2.5.2 В случае I из рис. 2-3 сдвиг между высотами 1000 и 500 футов является приблизительно линейным, а общий сдвиг составляет 2I узл. с интенсивностью 4,2 узл./100 фут; он получен в результате расчета (всего лишь по двум значениям ветра, имеющимся для точек A и B) и очень хорошо отражает фактические условия. Иначе обстоит дело в случаях 2 и 3, где, хотя расчетное значение общего сдвига также составляет 2I узел или 4,2 узл./100 фут, фактические обстоятельства таковы, что данный сдвиг сосредоточен на участке 200 футов с неожиданной местной интенсивностью сдвига ветра, намного превышающей 4,2 узл./100 фут и достигающей в данном примере максимальной величины 10,5 узл./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 исключительным, характерным для определенных условий (см. п. 3.1.2.3).

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 интерполяции [4] и, следовательно, это может и не указывать на наличие фактического сдвига ветра между двумя отдельными высотами.

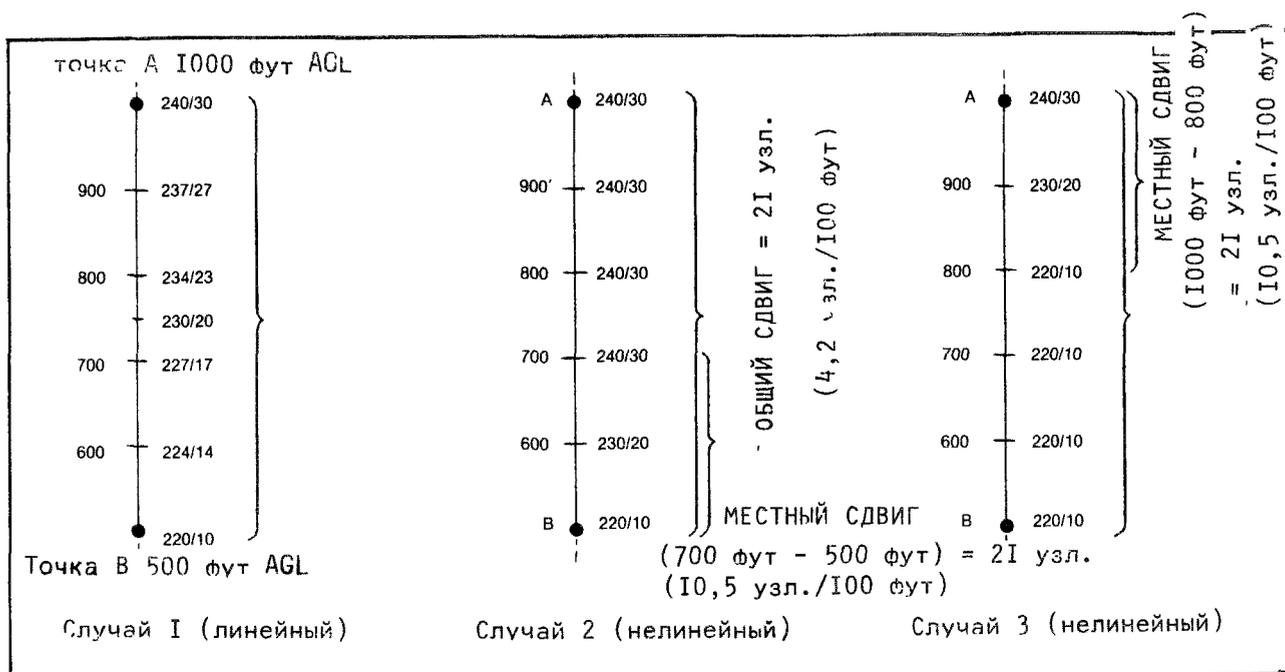


Рис. 2-3. Линейный и нелинейный сдвиг ветра

Глава 3

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ЯВЛЕНИЯ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ СДВИГ ВЕТРА НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ

3.1 ПРОФИЛЬ ВЕТРА В НИЖНИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

3.1.1 Общие положения

3.1.1.1 Общеизвестно, что даже вне сферы воздействия особых метеорологических 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; и
- б) "слой Экмана" 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.

3.1.1.2 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.

3.1.2 Поверхностный пограничный слой

3.1.2.1 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 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 ;
 k - постоянная Кармана, равная приблизительно 0,38;
 u_* - "скорость трения";
 z_0 - длительность пересеченности, которая зависит от характера (пересеченности) конкретной поверхности.

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

3.1.2.2 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 этому уравнению (см. рис. 3-1 а)) [3].

3.1.2.3 Экспериментальный 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"; учитывая, что максимальная скорость его может превышать 60 узл., такое описание представляется вполне оправданным. Этот термин был впервые применен для описания струеподобного максимального ветра на малых высотах, часто наблюдающегося на Великих равнинах в Соединенных Штатах Америки; об аналогичных явлениях сообщалось из других районов, Соединенных Штатов Америки, из Скандинавии и с восточного побережья 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.

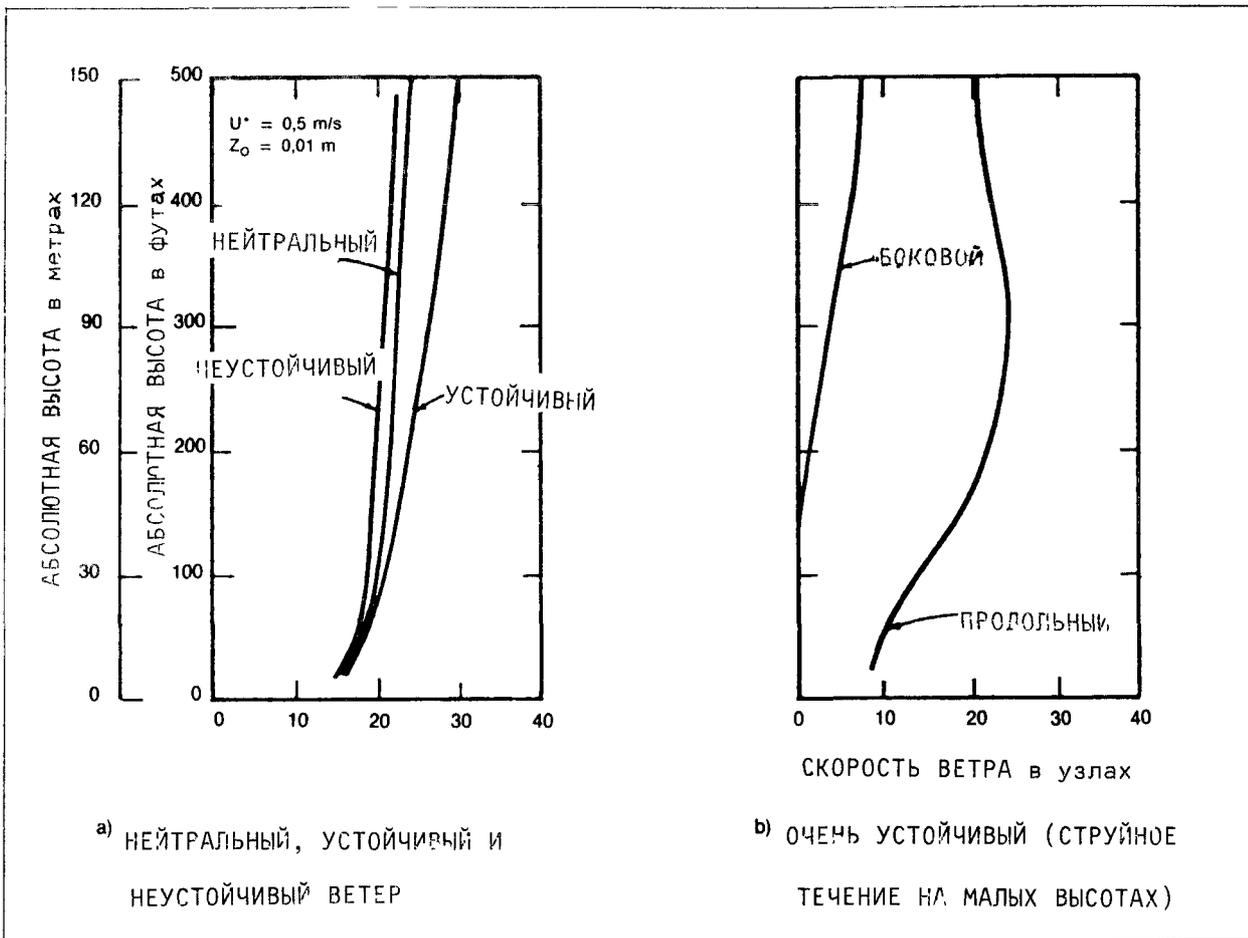


Рис. 3-1. Профили ветра при атмосферном воздействии пограничного слоя (по Эллису и Кинану, 1978)

3.1.2.4 Логарифмический закон ветра вызывает интерес не только с теоретической точки зрения, поскольку он дает модель сдвига ветра для использования при сертификации систем автоматической посадки 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 высоте; как видно из определения, направление ветра в пределах слоя никогда не будет меняться. Тем не менее, даже с учетом таких ограничений модель все же хорошо

* См. Техническое руководство по летной годности, Doc 9051, часть III, раздел 8, глава 7, добавление А.

воспроизводит средние условия, с которыми пилоту вероятнее всего придется столкнуться в самых нижних слоях атмосферы на высотах ниже 100 м. 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 5 узл./30 м на первых 15 м (50 фут), понижаясь до менее 1 узл./30 м выше 100 м (330 фут). Вопрос разработки имитационных моделей на основе более аномальных сдвигов ветра рассматривается в главе 7.

3.1.3 Слой Экмана

3.1.3.1 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.

3.1.3.2 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), то есть в слое, который с тех пор стал известен как слой Экмана. Уравнение, выведенное Экманом, применительно к атмосфере может быть записано следующим образом [17]:

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

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 и

B - постоянная, учитывающая параметры вязкости и силы Кориолиса.

3.1.3.3 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.

3.1.3.4 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 до 0° на верхней границе слоя трения. Если вычисленный ветер в слое Экмана

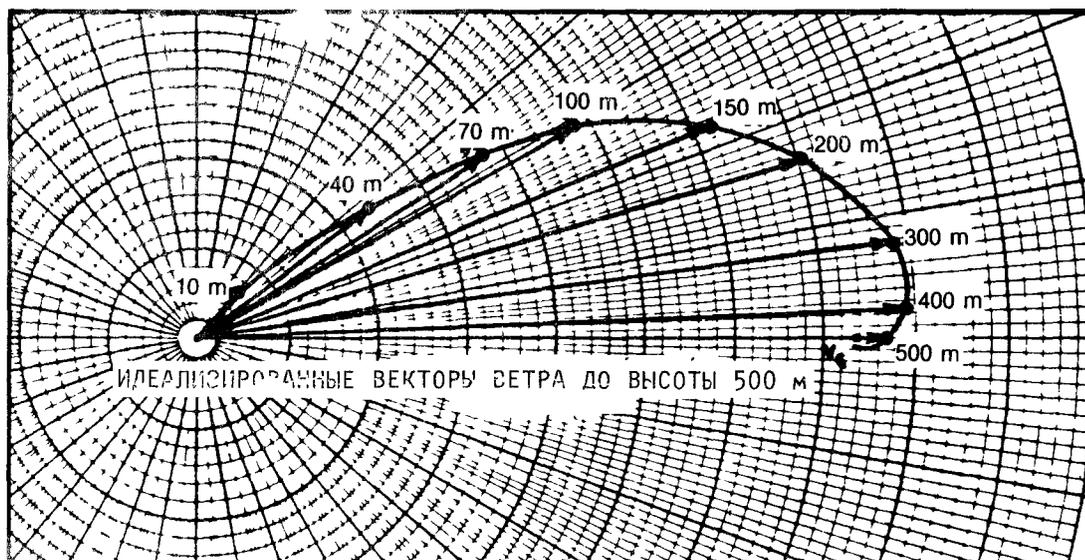


Рис. 3-2. Спираль Экмана

представить в форме годографа, концевые точки векторов ветра описывают равноугольную спираль, показанную на рис. 3-2 и известную под названием спирали Экмана.

3.1.3.5 На практике выясняется, что скорость ветра в слое Экмана, как правило, действительно возрастает с увеличением высоты, ветер действительно дует под углом к изобарам, этот угол действительно уменьшается с увеличением высоты и ветер действительно 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 (то есть без воздействия особых метеорологических явлений, вызывающих сдвиг ветра) на высотах от поверхности земли до порядка 600 м (2000 фут).

3.1.4 Модели профиля ветра для условий ненейтральной устойчивости

3.1.4.1 Эмпирически выведены и другие модели, представляющие профили атмосферного ветра в условиях атмосферы, когда устойчивость не является нейтральной [8], [9], [10]. 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 а γ - параметр, зависящий от устойчивости, пересеченности земной поверхности и высоты и имеющий значение от 0 до $+1$, определяемое эмпирически.

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

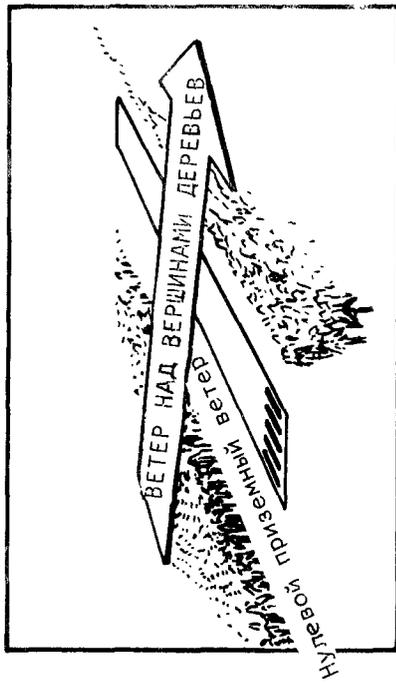
3.2 ВЕТЕР, ОБТЕКАЮЩИЙ ПРЕПЯТСТВИЯ

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. 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.

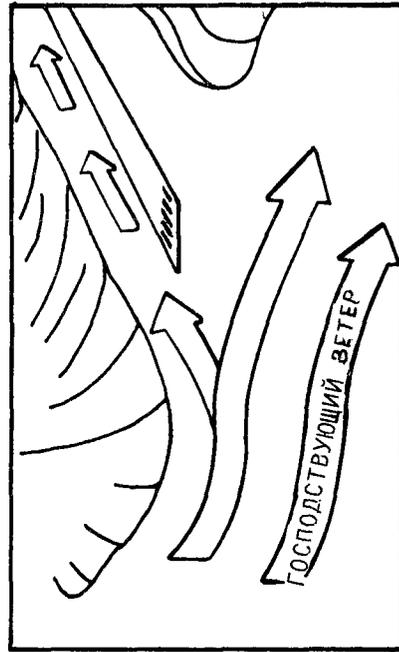
3.2.2 Чаще всего сдвиг ветра подобного рода создается большими строениями вблизи ВПП, особенно на небольших аэродромах. Несмотря на то, что высота строений ограничивается в зависимости от их удаленности от кромки летной полосы, чтобы они не создавали помех для воздушных судов, для их размеров характерна 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 (см. рис. 3-3 а), что приводит к изменению значений ветра вдоль ВПП. 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 [11].

3.2.3 Для летных полей иногда буквально вырубает участки обширных хвойных лесов или кокосовых плантаций, в результате чего ВПП оказывается фактически внутри "тоннеля" из деревьев. И даже 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).

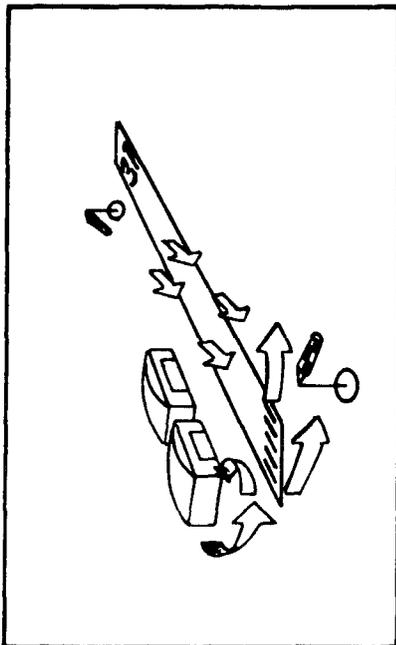
3.2.4 Еще больший интерес представляют ВПП, которые в силу необходимости сооружаются в узких долинах или вдоль гряды низких холмов. В этом случае масштаб препятствия таков, что оно может повлиять на воздушные потоки на малой высоте в обширном районе. Там, где гряда низких холмов простирается рядом с 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 по сужающейся спирали вдоль ВПП (см. рис. 3-3 d). В особых



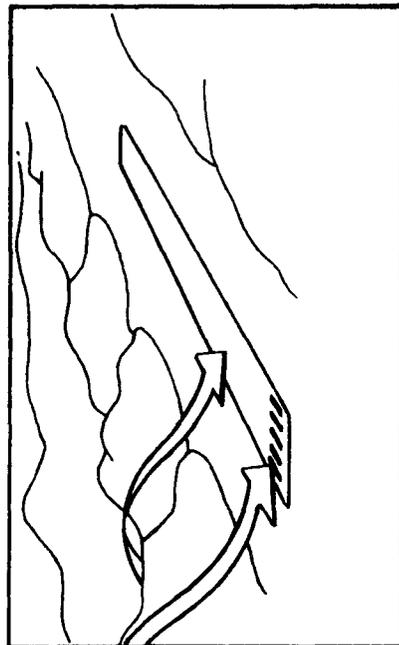
b)



d)



a)



c)

Рис. 3-3. Ветер, обтекающий препятствия

случаях, когда холмы располагаются по обе стороны ВПП, втянутый по спирали поток может проявлять свойства, сходные с эффектом трубки Вентури, что приводит к ускорению приземного ветра [12].

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, но 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 кatabатический 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 легкого воздуха, который находится на той же высоте, но на некотором удалении от поверхности склона. Сдвиг ветра и турбулентность на малых высотах будут присутствовать 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. п. 3.5.2). 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 так называемых 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 [13]. Для образования этих крупномасштабных явлений обычно необходимы и другие факторы, помимо кatabатического 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, который может способствовать увеличению скорости холодного северо-западного ветра со склонов гор до 70 узл. и более.

3.2.8 Простой пример потока приземного ветра, перетекающего через гряду низких холмов вблизи ВПП, упомянут в п. 3.2.4, выше. 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 [14]. Отдельные горные хребты с уникальными свойствами (особенно с крутыми подветренными склонами) и благоприятными метеорологическими условиями, такие как Скалистые горы в США, известны своими ярко выраженными подветренными волнами. Наиболее благоприятные метеорологические условия для образования подветренных волн включают:

- a) устойчивый слой воздуха между двумя менее устойчивыми слоями, один из которых расположен вблизи земли, а другой на большей высоте;
- b) ветер со скоростью более 15 узл., пересекающий гребень под прямым углом $+39^\circ$;
- c) малый сдвиг направления ветра или отсутствие этого сдвига в устойчивом слое;
- d) перепад давления на уровне моря в местности, разделенной горным хребтом.

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 100 узл., например во время "ветряных бурь" недалеко от города Боулдер, штат Колорадо [15]. 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

3.2.9 Другим возможным последствием перетекания воздушного потока через горный хребет является "фен", дующий вниз по подветренному склону гор (например, "Чинук" на западе Канады и "Санта-Ана" в Калифорнии). 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, достигающий подножья, образует теплый сухой ветер. 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 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 п. 3.2.8, выше.

3.2.10 В связи с атмосферными волнами будет уместно упомянуть о еще одном виде 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". 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 gloria" [17]. Хотя порывы приземного ветра при прохождении "утренней gloria" обычно не превышают 10 м/с (20 узл.), они возникают внезапно, направление ветра меняется быстро (зачастую в диапазоне 180°), причем появляются значительные нисходящие потоки в самой волне [18]. Волна распространяется довольно равномерно, обычно со скоростью более 10 м/с (20 узл.), 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 [19].

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 самой своей природе уже является зоной сдвига ветра.

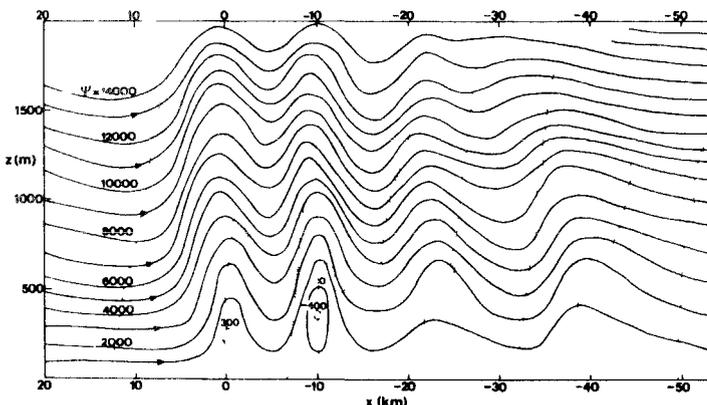
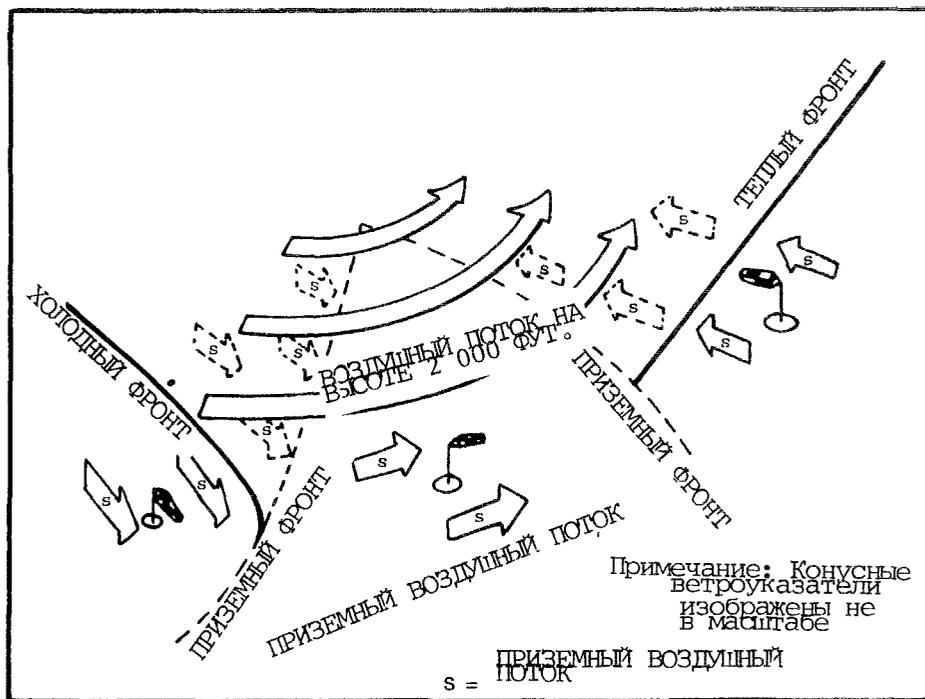


Рис. 3-5. Поперечный разрез относительных линий обтекания, перпендикулярных линии облачности при "утренней глории", 4 октября 1979 года; составлено по данным ветра с использованием двух теодолитов. (По Смиту и Гудфилду, 1981)

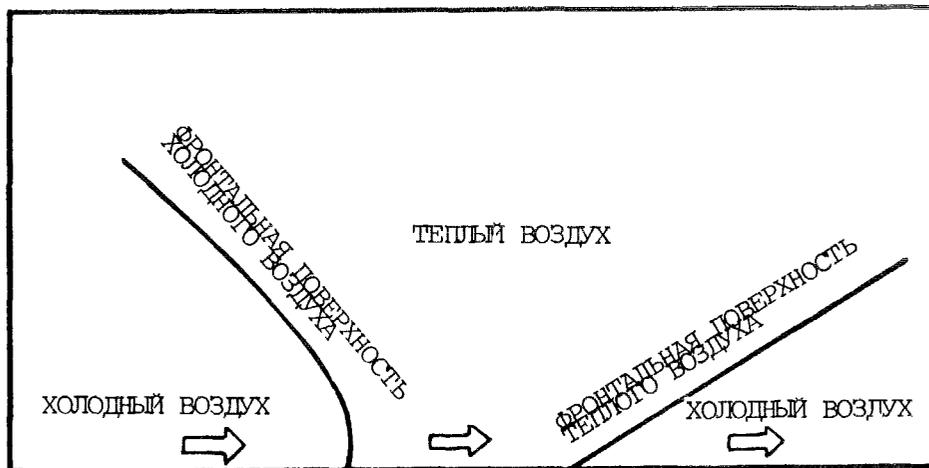
3.3.2 Пересечение фронтальной поверхности горизонтальной плоскостью обозначает положение фронтальной поверхности на конкретной высоте; пересечение с поверхностью земли называют фронтом на поверхности земли или просто фронтом. Фронты классифицируются в соответствии с их движением и результирующими температурными 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) 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 $\sqrt{20}$. 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. Типичные наклоны, упомянутые выше, 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° ($\sim 1/20$), 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; и
- b) в холодном фронте и позади него, причем уровень максимального сдвига ветра поднимается над аэродромом от уровня земли вслед за прохождением холодного фронта.



- a) Трехмерная схема движения воздушных потоков в системе теплового/холодного фронта до высоты 2000 футов в северном полушарии (вертикальный масштаб преувеличен)



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

Рис. 3-6. Фронтальные поверхности

На уровне земли в направлении поперек фронта наблюдается и горизонтальный сдвиг ветра, хотя при обычной скорости прохождения фронтов через аэродром он, как правило, 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 просто 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 будет зависеть 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 большие 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 (см. рис. 3-7), а в ночное время меняет направление на обратное и дует уже как береговой бриз с суши в сторону воды. 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 10 до 15 узл., хотя в тропических районах она может превышать 20 узл. Морской бриз намного сильнее берегового и может проникать на сушу в послеполуденные часы на расстояние до 48 км (30 миль), захватывая высоты до 360 м (1200 фут) над уровнем земли. 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.

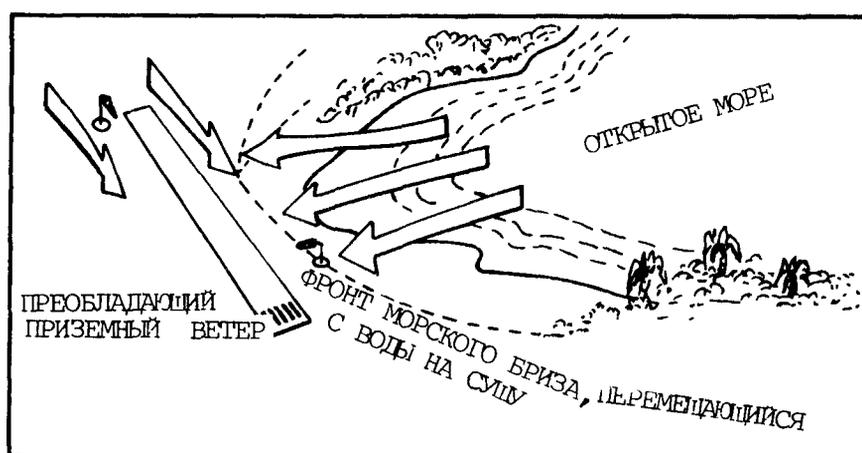


Рис. 3-7. Фронт морского бриза

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 [21]. 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 породить 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.

3.5 ГРОЗЫ

3.5.1 Общие положения

3.5.1.1 Грозы, вероятно, представляют собой наиболее впечатляющую повседневную демонстрацию мощи природы, которую могут наблюдать большинство людей во всем мире. Название "гроза" выступает всеобъемлющим определением, которое может включать 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; вот почему, когда высказываются предположения относительно влияния таких взрывов на погоду, это может вызвать улыбку у метеорологов.

3.5.1.2 Вздымающаяся 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; и
- b) фронтальные грозы.

Для первого вида 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 гребта 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.I. 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.I.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 получаса до одного часа; эти функциональные циклы могут соответствующим образом подразделяться на три стадии (см. рис. 3-8) в зависимости от направления и силы преобладающего вертикального потока воздуха в очаге:

- a) кучевая стадия или стадия роста, характеризующаяся восходящими потоками по всему очагу;
- b) стадия созревания, характеризующаяся наличием как восходящих, так и нисходящих потоков; и
- c) 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 [22].

3.5.I.4 Структура воздушных потоков внутри и по периферии грозы была выяснена, по крайней мере в общих чертах, еще в 40-е годы, а конкретнее, вслед за получившим широкую известность "Грозным проектом", осуществлявшимся в Соединенных Штатах в 1946-1947 годах [23]; более поздние исследования во многом подтвердили эти общие идеи. На протяжении примерно десяти последних лет применение множественных доплеровских РЛС в целях контроля воздушных потоков как при ясном небе, так и при облачности (см. п. 5.I.2.3.3), а также имитация динамики гроз с помощью вычислительной техники [24] позволили исследователям проанализировать структуру воздушного потока до мельчайших подробностей (см. рис. 5-I2). 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.I.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 [25]. В целом чем более организованной является

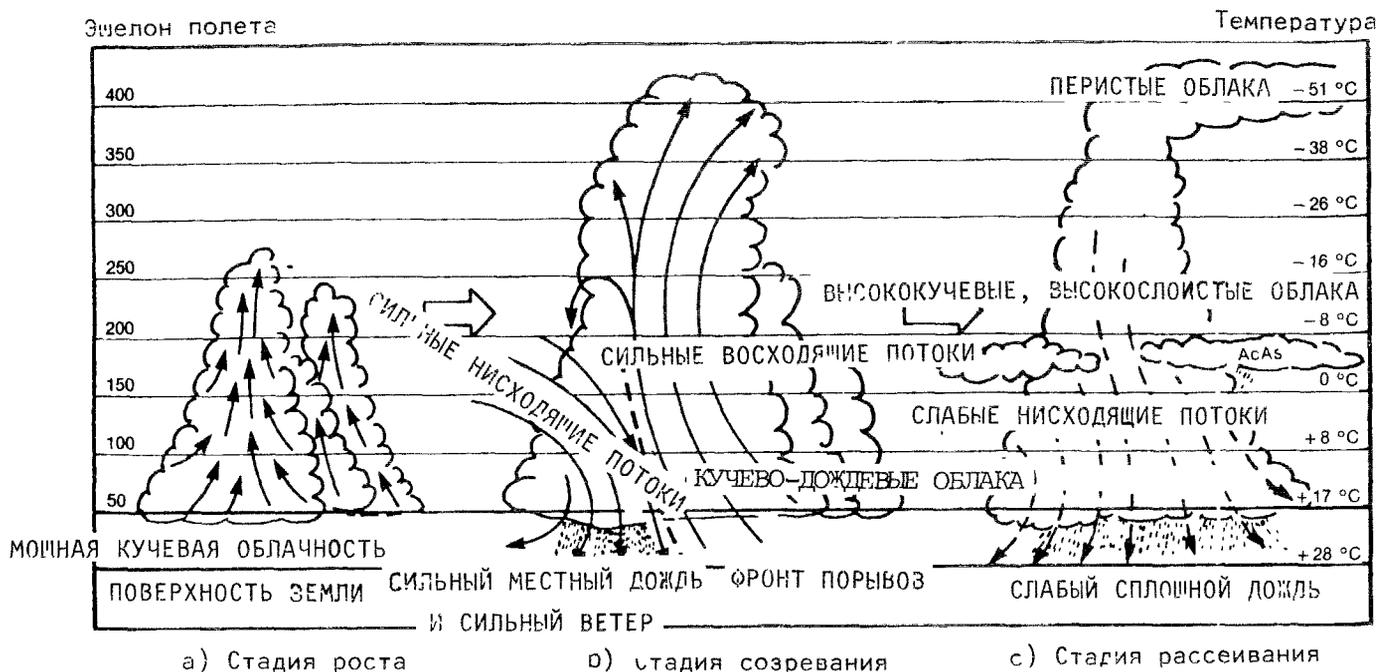


Рис. 3-8. Функциональный цикл грозы

очаговая структура, тем сильнее гроза. Этот признак позволяет провести гораздо более подробную классификацию гроз, чем представлялось возможным до сих пор; одна из таких возможных классификаций показана на рис. 3-9. Степень сформированности достигается 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 (то есть сдвиг ветра по вертикали) и неустойчивость являются, вероятно, самыми критическими факторами, определяющими интенсивность грозы. При достаточной атмосферной неустойчивости, конвергенции на малых высотах и влажности интенсивность грозы стремится возрастать 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, наконец, 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 [26], [27]. Как показано на рис. 3-9, такие грозы могут причинять огромный ущерб

	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 редко 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 вне тропические. Могут быть организованы в линии или мезомасштабные группы	Главным образом фронтальные в континентальных средних широтах. "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 местные разрушения

Рис. 3-9. Классификация гроз

как непосредственно в виде крупного града, так и косвенно, вследствие интенсивных нисходящих порывов и торнадо, порождаемых этими грозами (см. п. 3.5.5).

3.5.1.6 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 наконец 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 [28]. 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 выпадают довольно часто. 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. Эти свойства более подробно рассматриваются в последующих разделах настоящей главы.

3.5.2 Фронт порывов

3.5.2.1 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 60-х годов, подробная информация о структуре этой системы была накоплена сравнительно недавно [29]. Фронт порывов – это передняя кромка холодного, плотного воздуха из грозовых нисходящих потоков, который достигает земли и распространяется во всех направлениях, подрезая более теплый и 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-II). Этот эффект может быть усилен, если, как это часто происходит, холодный нисходящий поток ударяет в землю не вертикально, а под углом, 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, такое внезапное изменение приземного ветра может застать

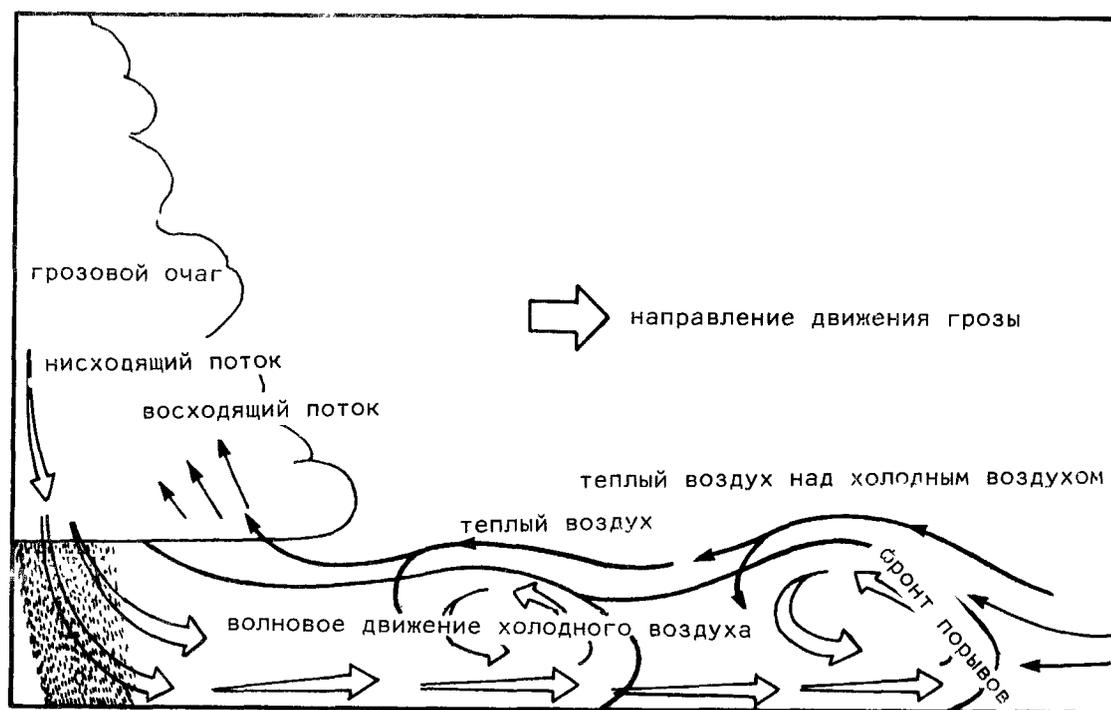


Рис. 3-10. Типичный фронт порывов в разрезе (из плаката ИКАО № P62I "Турбулентность и сдвиг ветра в фронте порывов")

пилотов врасплох. Изменение направления приземного ветра часто достигает 180° , а скорость порывов ветра после прохождения фронта может превышать 50 узл.

3.5.2.2 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), чем фронты, образованные одиночными грозами. Чрезвычайно четко организованные линии шквалов представляют типичное явление для сезона дождей по всей Западной Африке [30]. Глубина холодного воздуха во фронте порывов может достигать 1000 м (3200 фут), и по всей 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 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.

3.5.2.3 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 наподобие глазури

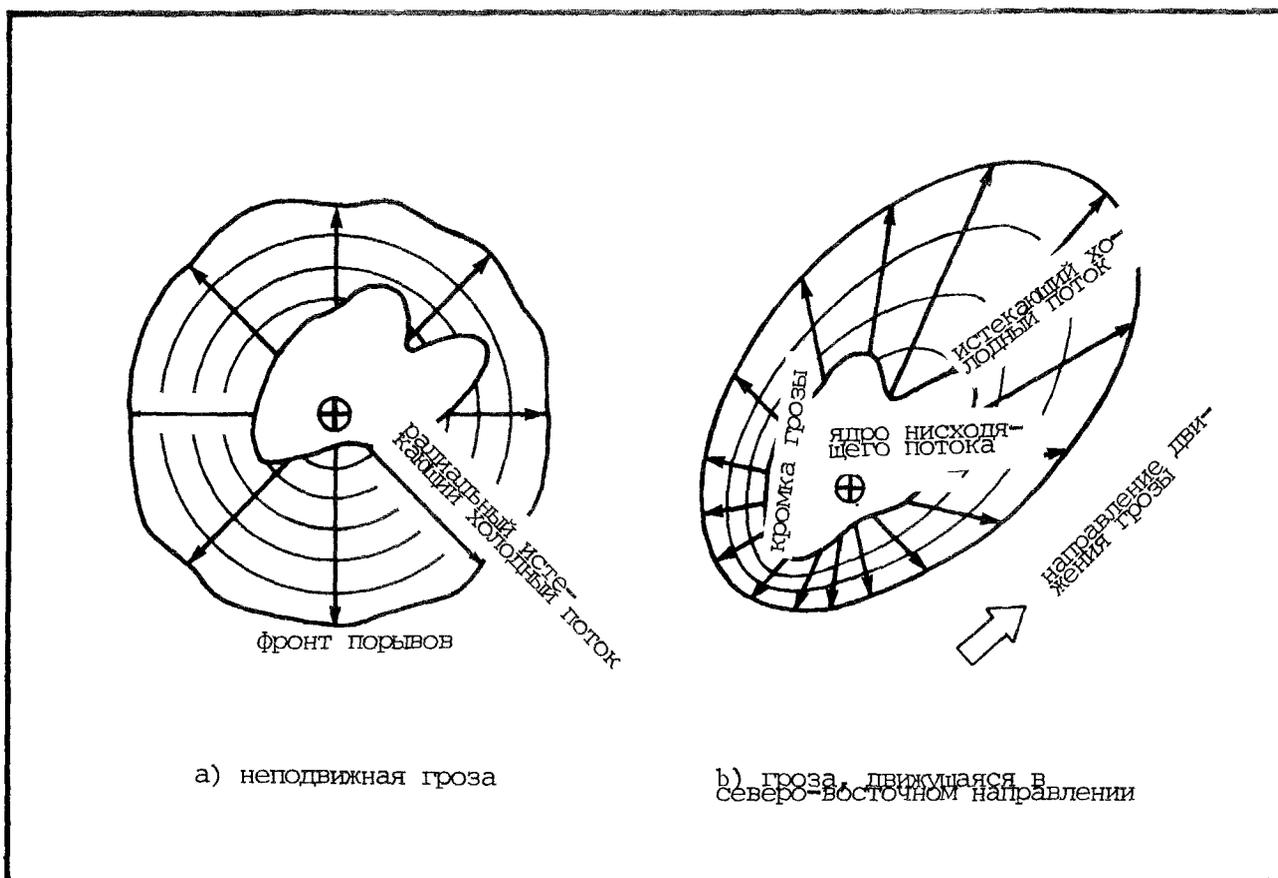


Рис. 3-II. Типичные фронты порывов в плане

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 "хауб" и на северо-западе Индии под названием "андхи" [31]. 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 повышения эффективности этого метода необходимы автоматизированные средства обнаружения, а они все еще находятся в стадии разработки (см. п. 5.1.2.3.3) [32].

3.5.3 Нисходящий порыв

3.5.3.1 Пояснения к процессу образования сильных нисходящих потоков в зрелых очагах грозы, приводившиеся в п. 3.5.1.6, 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 выглядела не выше, чем при обычных нисходящих потоках.

3.5.3.2 Подробное обследование повреждений, нанесенных ветром при грозе, показывающее направление, в котором ветер валит деревья, кукурузу, пшеницу и т.д., использовалось Фаустом еще в 1947 году. 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 году, 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) [33]. Байерс и Фудзита (1975 год) классифицировали такой сильный нисходящий поток как "нисходящий порыв" и определили его как "местные сильные нисходящие потоки воздуха с вертикальными течениями, скорость которых превышает 12 фут в секунду или 720 фут в минуту на высоте 300 фут над земной поверхностью" [33]. В 1978 году Фудзита обобщил это определение следующим образом: "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.

3.5.3.3 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 п. 3.5.1.6, и нисходящим порывом, природу которого предположил, а затем убедительно сформулировал Фудзита. В одном крайнем случае нисходящий порыв рассматривается как "нисходящий сверхпоток", зарождающийся при грозе на очень больших высотах, в отношении другого же крайнего случая указывается, что нисходящий порыв, зарождается в средних слоях атмосферы. Последнее разъяснение действительно согласуется с результатами наблюдений и моделирования так называемых "сверхочаговых гроз" (см. п. 3.5.6.1). Представляет интерес сравнительный обзор различных разъяснений, представленный Вулфсон [34], но она заключает, 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. Всесторонний обзор имеющейся на текущий период (на 1985 год) информации по вопросу о нисходящем порыве можно найти в книге Фудзита "Нисходящий порыв" (см. библиографию).

3.5.3.4 Опасная природа нисходящих порывов привлекла пристальное внимание, особенно в авиационной среде, после авиационного происшествия 24 июня 1975 года в нью-йоркском аэропорту имени Кеннеди с самолетом "Боинг-727" авиакомпании "Истерн эрлайнз", выполнявшим рейс № 66. Д-р Фудзита подготовил детальный анализ грозовой деятельности над аэропортом во время этого происшествия, в котором он, исходя из наличия серии нисходящих порывов, выделил сценарий, объясняющий последовательность событий в тот роковой день. Он заключил, что "результаты исследований и размышления по поводу явлений, описанных в

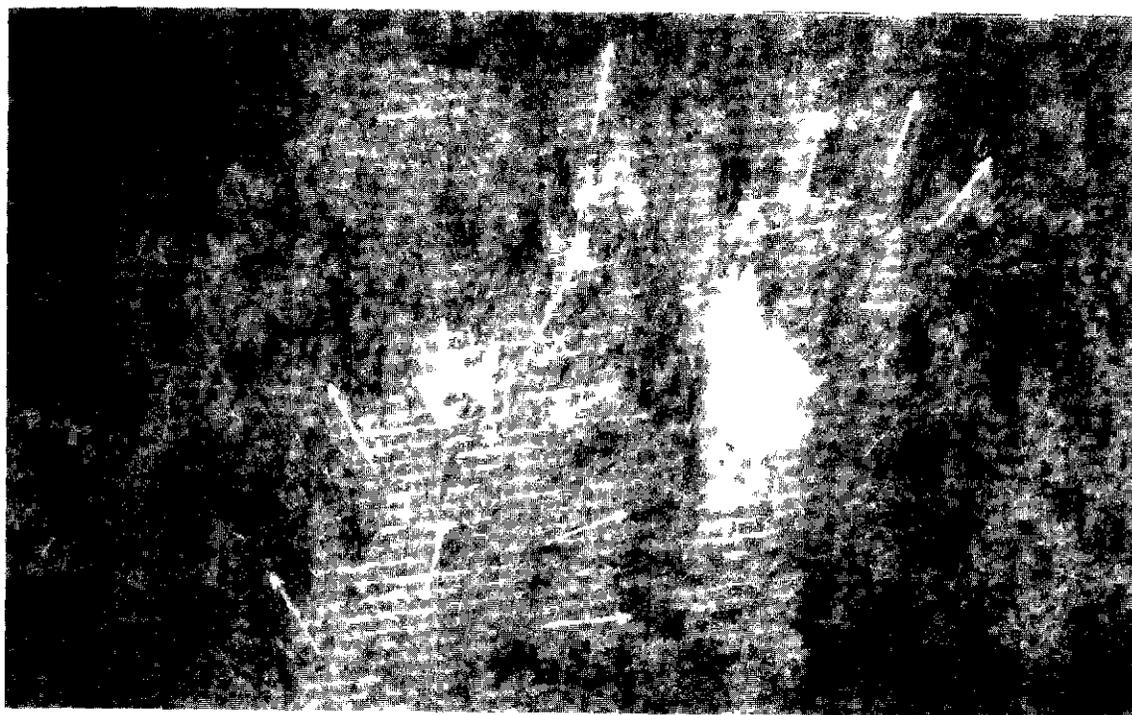


Рис. 3-12. Свыше 300 деревьев было повалено в результате сильного воздушного выброса недалеко от Бекли, в Западной Виргинии.

Аналогичное положение деревьев было сфотографировано автором в различных местах вдоль пути следования торнадообразующих гроз 3 апреля 1974 года, в день небывало сильной серии торнадо (Фудзита, 1976)

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 процентов отраженных сигналов в зоне Нью-Йорка - главной области настоящего исследования - были копьевидными сигналами [33].

3.5.4 Микропорыв

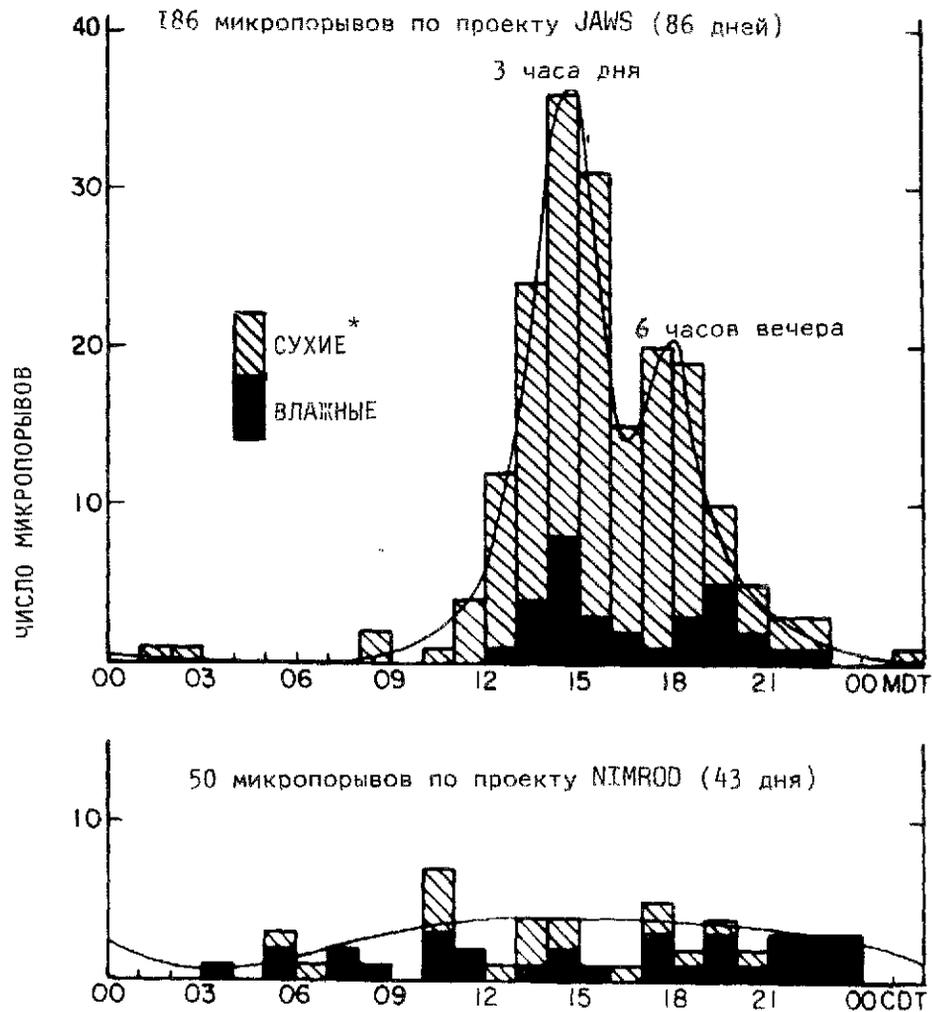
3.5.4.1 В ходе дальнейших исследований при рассмотрении характера повреждений, наносимых нисходящими порывами, выяснилось, что в основном поле нисходящего порыва обнаруживались меньшие по размеру, но еще более интенсивные нисходящие порывы. Эти мелкие, но очень интенсивные нисходящие порывы были названы Фудзитой "микропорывами" и определены как "нисходящие потоки, приводящие к внезапному истечению горизонтального ветра разрушительной силы с горизонтальной протяженностью по поверхности от 0,4 до 4 км" [35].

Малый масштаб действия микропорыва как во времени, так и в пространстве делает почти невозможным его обнаружение существующими системами наблюдения. К сожалению, именно такой масштаб, по-видимому, представляется наиболее важным с точки зрения авиации, что придает исследованиям в области динамики гроз срочный характер. Микропорывы 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.

3.5.4.2 В целях дальнейшей активизации исследований был разработан двухлетний проект сбора данных в 1978 году, который получил название "проект NIMROD" (Метеорологические исследования в области нисходящих порывов в Северном Иллинойсе) [35] и в котором в 1978 году приняли совместное участие Чикагский университет и Национальная метеорологическая служба США. В этот период было подтверждено существование нисходящего порыва как явления и были получены первые результаты измерений воздушного потока внутри микропорывов при помощи доплеровской РЛС, однако по причине разнесенности трех использовавшихся РЛС удалось проанализировать данные только от одной РЛС*. Следующей целью было получение данных о фактическом ветре внутри и около нисходящих порывов/микропорывов путем использования, помимо прочего, множественных доплеровских РЛС, расположенных достаточно близко, чтобы измерить воздушный поток в трехмерном пространстве. Для этого в международном аэропорту Стэмптон (Денвер, штат Колорадо, США) был составлен совместный проект исследований погоды в аэропортах (JAWS) на 1982-1984 годы [36]. 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 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 года, за ним последовал этап обобщения и анализа данных в 1983-1984 годах. И хотя в течение еще какого-то времени анализ будет продолжаться с целью более углубленного изучения данных, опубликованных на настоящий момент результаты уже содержат дополнительное подтверждение существования и силы нисходящих порывов и микропорывов. В то же время, как и следовало ожидать, нисходящий порыв/микропорыв оказался 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".

3.5.4.3 Всего в "сети" наблюдения по проектам NIMROD и JAWS показало, если можно так выразиться, 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 [37]. 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 микропорывы в большинстве представляют "влажную" разновидность. Пример поля ветра, связанного с одним микропорывом по проекту JAWS,

* 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.



* Влажные микропорывы: количество осадков в виде дождя, равное или превышающее 0,01 дюйма в период пиковых значений ветра.

Сухие микропорывы: количество осадков в виде дождя меньше 0,01 дюйма между началом сильного ветра и окончанием ветра микропорывов, включая штилевой период, если таковой имеет место.

Рис. 3-13. Суточные изменения приземных микропорывов всех степеней интенсивности, измеренные на 27 станциях РАМ (по Фудзите и Вахимото, 1983)

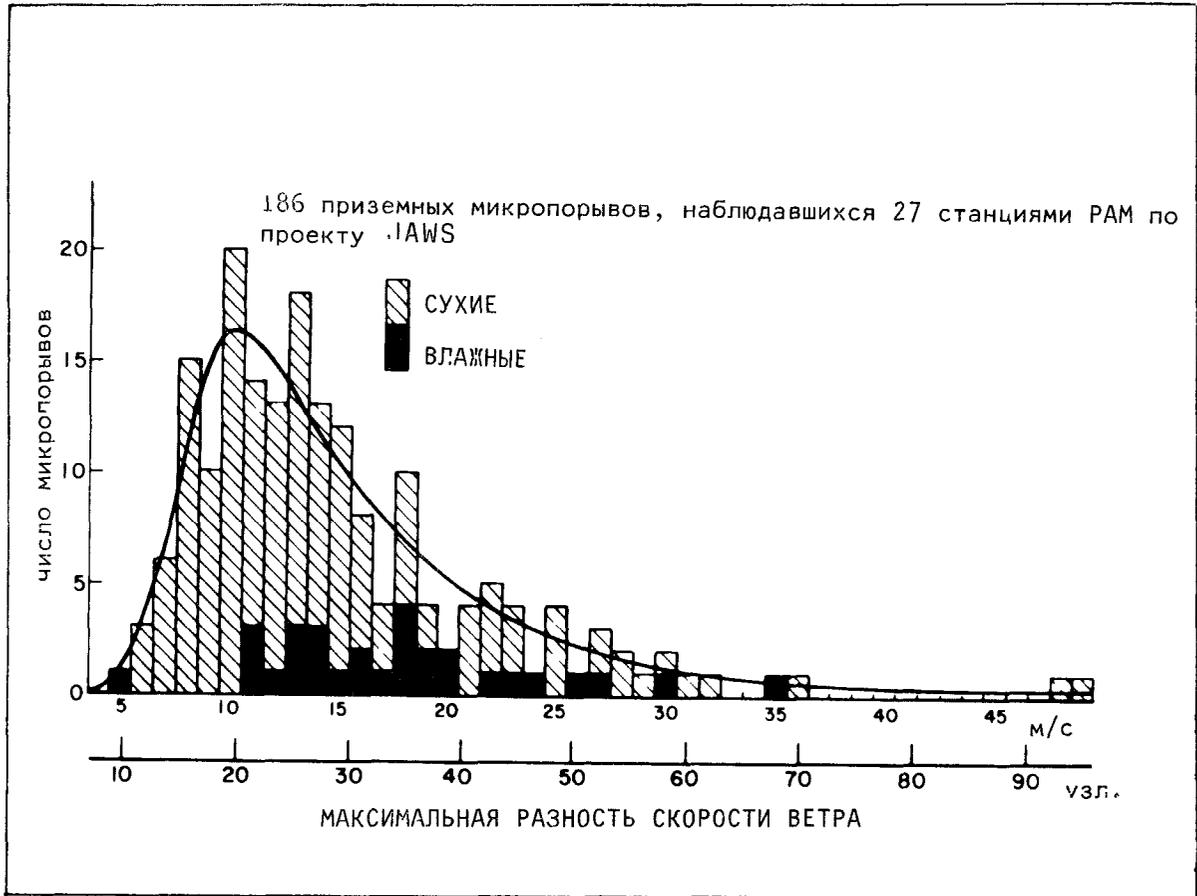


Рис. 3-14. Частота приземных микропорывов как функция максимальной разности скорости ветра, измеренной на 27 станциях РАМ (Фудзита и Вакимото, 1983)

приведен на рис. 3-15 [38], где указывается возможное существование кольца вихрей вокруг микропорыва, чем можно объяснить быстрое нарастание силы нисходящего потока и обосновать его концентрированный и местный характер. Было высказано предположение, что серия таких вихревых колец может быть образована, как показано на рис. 3-16 [39], [40]. Вероятная последовательность и масштаб событий в процессе развития микропорыва согласно анализу данных по проекту JAWS показаны на рис. 3-17 [41]. Особый интерес вызывает скоротечность микропорыва, обычно достигающего максимальной силы в пределах 10 минут. Как прямое продолжение деятельности в рамках проекта JAWS и практическое применение его результатов, Национальным центром США по исследованию атмосферы (NCAR) и ФАУ недавно (в конце 1984 года) была завершена 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 Стэплтон с целью обеспечения пилотов и органов обслуживания воздушного движения консультативными прогнозами сдвига ветра в реальном масштабе времени и разработки необходимых эксплуатационных правил [42]. В ходе осуществления проекта (с 2 июля по 15 августа 1984 года и 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 об изменениях направления ветра (или о фронте порывов)	- 32
Консультативные сообщения о торнадо	- 1

Консультативные сообщения службе УВД в отношении случаев изменения направления ветра на ВПП оказали существенную помощь диспетчерам при выборе нужной ВПП для взлета или посадки. Первоначальный анализ проекта по Маккарти и Вильсону (1985) [42] сводился к следующему:

- a) была наглядно продемонстрирована способность доплеровской РЛС заблаговременно предупреждать о наличии микропорывов и изменения направления ветра;
- 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.

ФАУ представило доклад об эксплуатационных аспектах данного проекта [43]. В докладе сделан вывод о том, что исследование по проекту предоставили ФАУ возможность выгодно с эксплуатационной точки зрения использовать на АДП две очень простые радиолокационные функции доплеровской РЛС, а именно, консультативные данные о микропорывах и фронтах порывов. В рамках проекта полезность этих двух функций даже при их нынешней примитивной форме была продемонстрирована в аэропорту Стэплтон. В результате исследований по этому проекту был также накоплен некоторый опыт эксплуатационного использования этих функций.

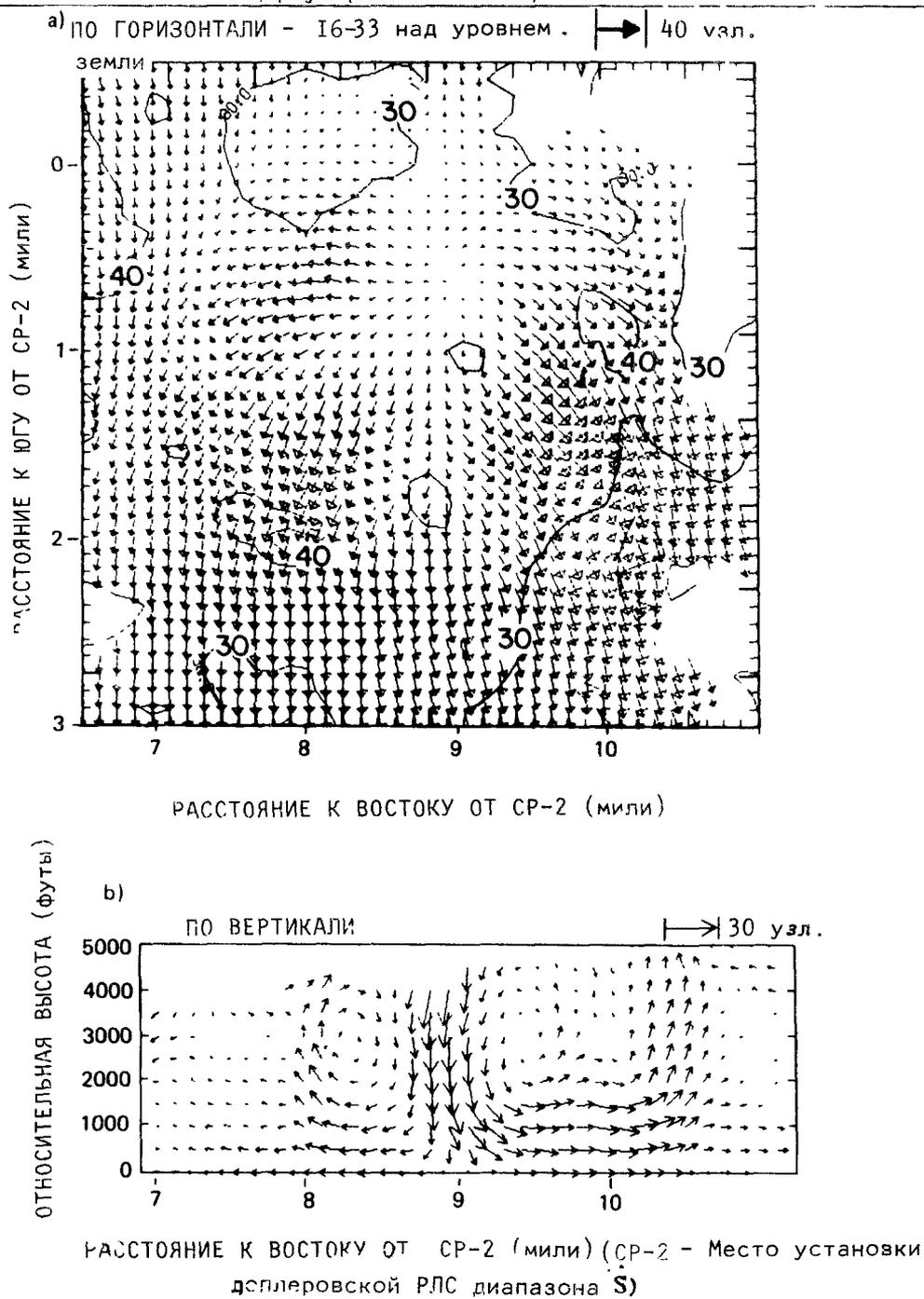
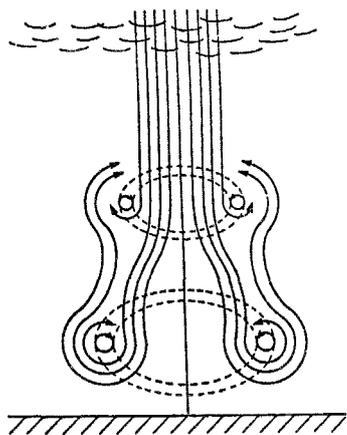
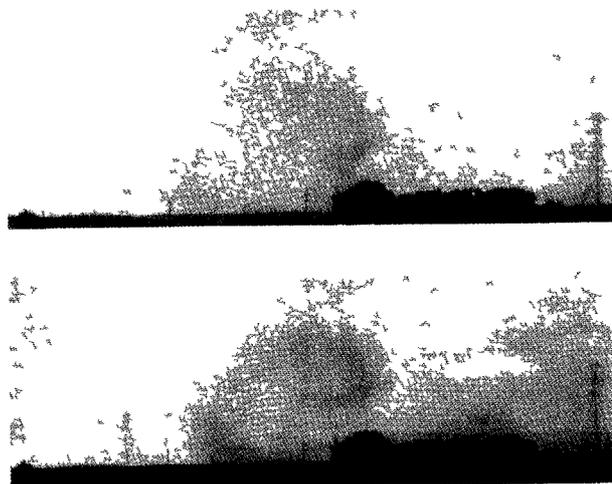
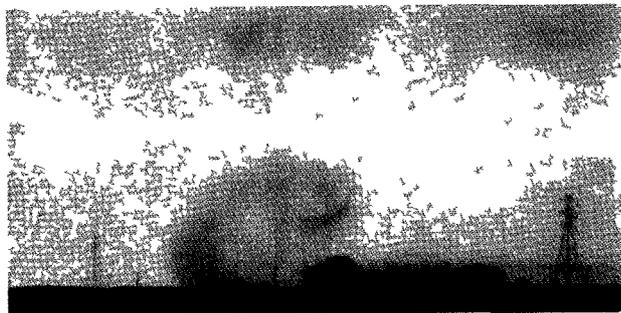


Рис. 2.55. Поля скоростей относительно земли по результатам анализа микропорыва, имевшего место 14 июля 1982 года в 14.52 MDT. Кривые представляют коэффициенты отражения РЛС (dBZ_e) (Вильсон и Робертс, 1983)



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



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

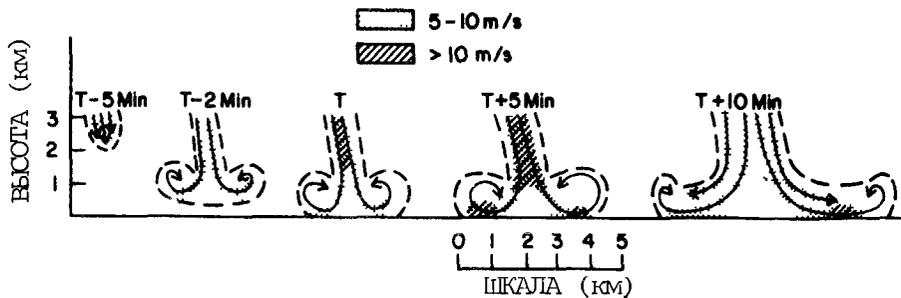


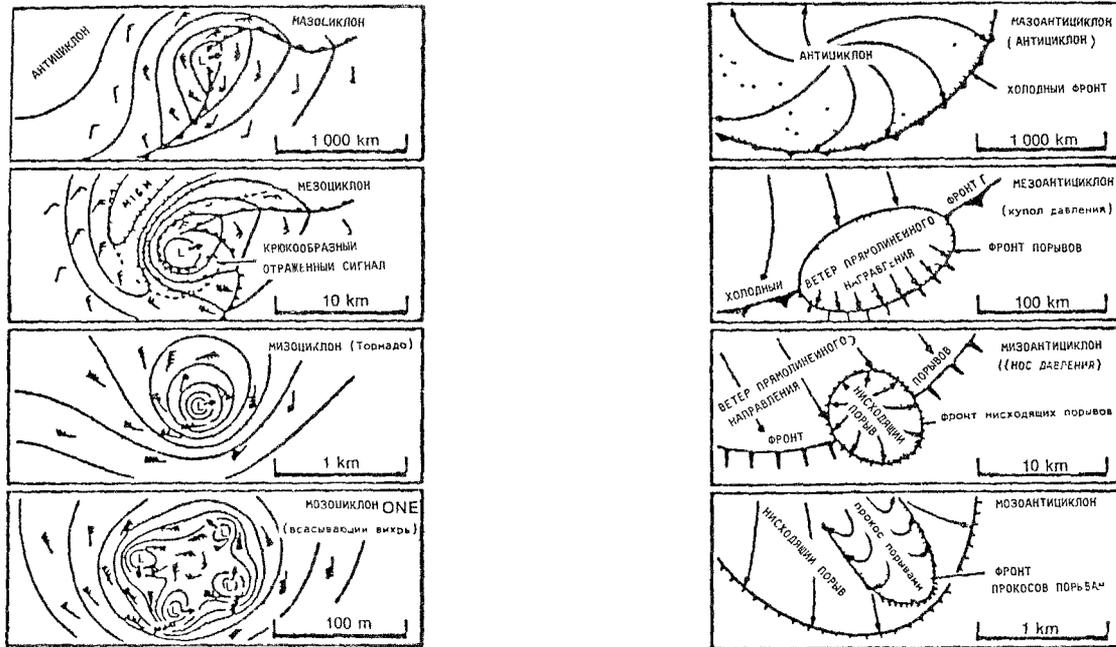
Рис. 3-17. Вертикальный разрез развития поля ветра, относящегося к микропорыву; Т - время начальной дивергенции у земной поверхности. Штриховкой обозначены векторные скорости (по Вильсону, Робертсу, Кессинджеру и Маккарти, 1984)

3.5.4.4 Помимо продолжающегося анализа массы данных, собранных в процессе выполнения проекта JAWS, планируются дальнейшие исследования в области микропорывов в рамках нового проекта, носящего название "MIST" (микропорывы и сильные грозы). Этот проект, который будет осуществляться совместно Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (NASA), Чикагским университетом и Центром космических полетов имени Маршалла (Хантсвилл, штат Алабама, США), предусматривает использование до 5 множественных установок доплеровских РЛС, 55 станций наблюдения РЛС, а также радиозондов, которые в грозовые дни будут запускаться ежедневно (см. п. 6.4).

3.5.5 Торнадо

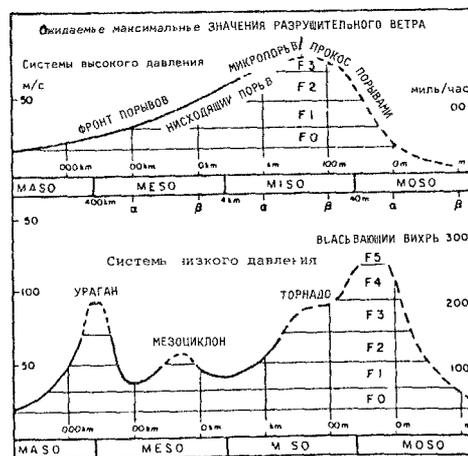
3.5.5.1 Как ни сильны и опасны ветры, порождаемые микропорывами, вне всякого сомнения, первенство в порождении самых сильных приземных ветров должно быть отдано торнадо. Во многих отношениях торнадо является противоположностью микропорыва, так как, если первое ведет происхождение от чрезвычайно концентрированной системы низкого давления, являясь вихрем, который буквально всасывает окружающий воздух, то последний представляет собой локализованную систему высокого давления, в которой ветры на малых высотах расходятся от центра микропорыва. 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 [44]. 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 (18-32 м/с) до F5 (117-142 м/с).

3.5.5.2 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 не при сильных грозах не всегда образуются торнадо. Действительно, одним из наиболее важных для метеорологов-исследователей является вопрос о том, почему одни сильные грозы порождают торнадо, а другие нет. Сноу [45] дает следующее примечательное 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



а) Мазо , мезо , мизо и мозоциклоны в контексте обобщенных планетарных масштабов. Последовательность соответствует порядку расположения гласных а, е, и, о и и (по Фудзите, 1981)

д) Мазо , мезо , мизо и мозоциклоны в контексте обобщенных планетарных масштабов (по Фудзите, 1981)



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 (по Фудзите, 1981)

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. Ветры в торнадо почти всегда циклонические". Сама разрушительная мощь торнадо является результатом того, что часть громадного количества энергии, заключенного в сильной грозе, концентрируется на площади, обычно не превышающей в диаметре нескольких сотен метров. Наибольшая скорость фактического ветра, измеренная при торнадо, составляла 67,5 м/с (135 узл.) [44], однако анализ ущерба, нанесенного торнадо инженерным постройкам, прочность структуры которых известна, анализ заснятого на пленку движения вращающихся при торнадо обломков и исследования доплеровских спектров скорости ветра указывают на то, что максимальная скорость ветра почти наверняка близка к 100 м/с (200 узл.) или даже превышает этот уровень.

3.5.5.3 Большинство (и все сильные) торнадо образуются внутри "мезоциклонов" * (см. рис. 3-18 а), которые часто ассоциируются с сообщениями о сильном граде и разрушительных нисходящих порывах [27]. Поскольку не все мезоциклоны образуют торнадо, присутствие мезоциклона является, несомненно, необходимым, но недостаточным условием для возникновения торнадо.

3.5.5.4 Результаты анализа ущерба, причиненного ветром при торнадо, свидетельствуют о наличии интенсивных организованных "всасывающих вихрей" даже внутри исходного торнадо. Предложенная Фудзитой модель такого торнадо [44] показана на рис. 3-19 (масштаб вихрей показан на рис. 3-18 а). 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 удлинненную форму, напоминающую вытянутую веревку. Торнадо, образующиеся над водой, принимают форму "водяного смерча" ** и происходят во всем мире гораздо чаще, чем торнадо над сушей [48].

3.5.5.5 Сказать, что торнадо представляют собой экстремальный вариант сдвига ветра и опасны для выполняющих посадку и взлетающих воздушных судов, значило бы утверждать очевидное. Столь же очевидно, наверное, и то, что смягчать такую опасность может до некоторой степени тот факт, что:

- a) торнадо обычно видимы и можно ожидать, что воздушные суда смогут обходить их при помощи маневра; и
- 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".

* 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).

** 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.

Хотя вышесказанное несет в себе определенную долю истины, было бы в высшей степени неразумно слишком пренебрегать той опасностью, 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 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 (см. п. 4.2.3.10).

3.5.6 Сверхочаговая гроза

3.5.6.1 В п. 3.5.1.5 и на рис. 3-9 речь шла о так называемых "сверхочаговых" грозах. Основными признаками, отличающими сверхочаговые грозы от других сильных гроз, являются:

- a) их одиноочаговая 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; и
- e) огромный ущерб, наносимый в результате воздействия сопутствующего града, а в некоторых районах мира и в результате воздействия группы горнадо и микропорывов /49/.

Термин "сверхочаг" был введен Браунингом еще в 1962 году в связи с очень сильной грозой с градом, которая нанесла большой ущерб в районе, находящемся недалеко от Уокингема в Англии в июле 1959 года. Типичная структура сверхочаговой грозы, которая с появлением множественных доплеровских РЛС для наблюдения таких гроз и благодаря имитации с помощью ЭВМ /26/ была разработана относительно подробно, схематично показана на рис. 3-20 /50/.

3.5.6.2 Вероятно, единственным 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 (78 узл. при почти 8000 фут в минуту), 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.

3.5.6.3 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,

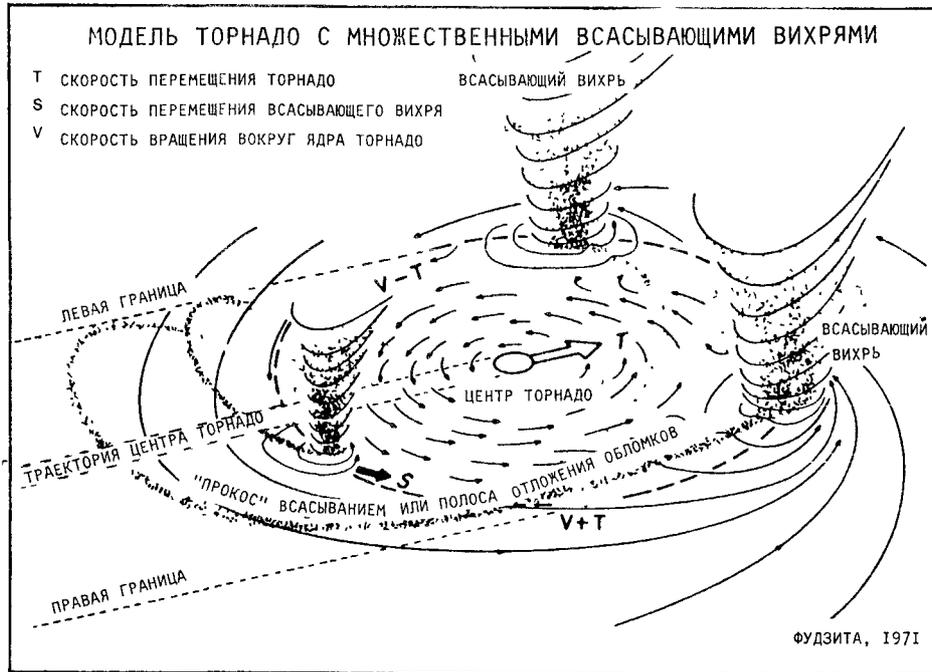


Рис. 3-19. Модель торнадо с множественными всасывающими вихрями.
(Фудзита, 1971)

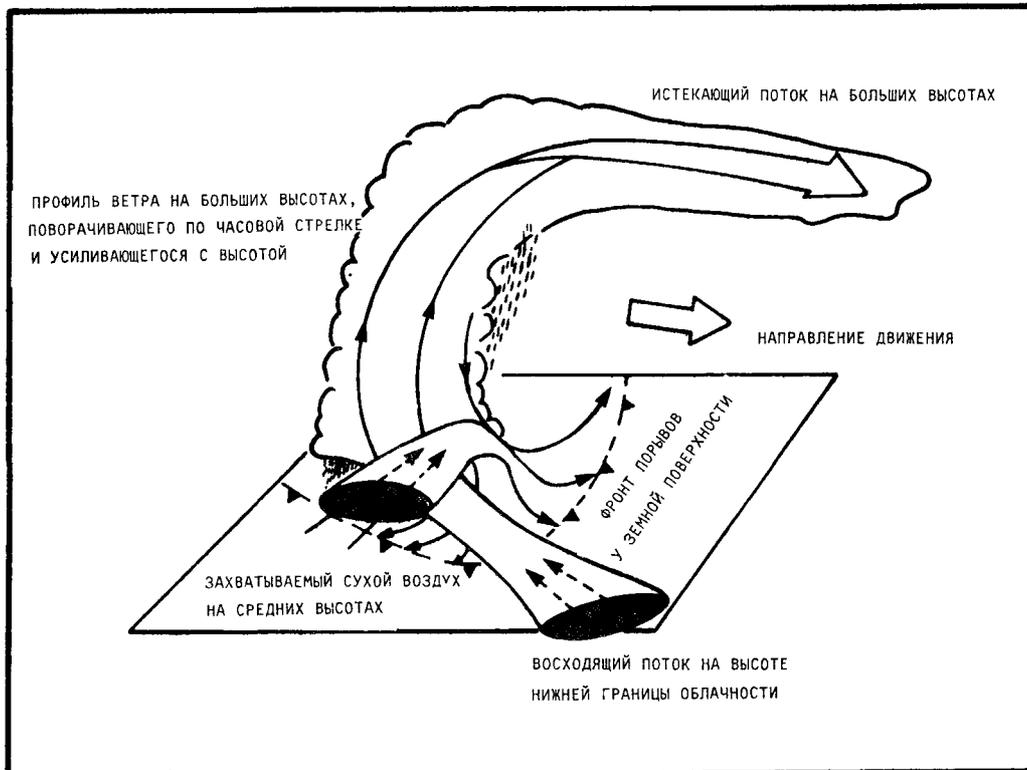


Рис. 3-20. Схематическая структура "сверхочаговой" грозы
(А.Дж.Торп, 1981)

которая непрерывно принуждает привходящий поток влажного воздуха на малых высотах подниматься вверх вдоль правого фланга грозы, тем самым поддерживая восходящий поток.

3.5.6.4 К числу предпосылок образования в атмосфере сверхочаговых гроз при наличии условий достаточной неустойчивости, как упоминалось в п. 3.5.1.5, 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.

3.5.6.5 Недавнее исследование инцидентов, когда воздушные суда встречались с сильной турбулентностью при ясном небе (CAT) 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. Есть также основания полагать, что вихри или волны могут развиваться на некотором удалении в подветренную сторону от вершин гроз [51]. Отмечалось, что при полете воздушных судов против ветра они могут рассчитывать на получение своего рода предупреждения в виде волнообразных возмущений, наблюдаемых впереди (то есть 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, в штате Калифорния, пытаются разработать модель для использования в авиационных тренажерах, которая сможет воспроизводить воздействие такого явления на воздушные суда различных типов.

3.6 КЛИМАТОЛОГИЯ КОНВЕКТИВНОГО СДВИГА ВЕТРА

3.6.1 На рис. 3-21 [52] показана годовая частота распределения гроз во всем мире, а более подробная картина распределения гроз над территорией Соединенных Штатов показана на рис. 3-22 [53]. Грозные районы Соединенных Штатов Америки и применительно к ним суточные и сезонные изменения грозовой деятельности показаны на рис. 3-23 [54]. Распределение в мировом масштабе авиационных происшествий/инцидентов, в которых, как установлено или предполагается, причинным фактором были микропорывы, показано на рис. 3-24 [55], а фактические траектории разрушительных торнадо, зафиксированных над Соединенными Штатами Америки в период 1880-1982 годов, показаны на рис. 3-25 [56]. 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, главным образом в силу того, что они обычно не могут наблюдаться непосредственно, и даже их воздействие в виде ущерба, причиненного лесам и полям, вряд ли может быть приписано микропорыву, если не проведена детальная оценка ущерба по результатам аэрофото съемки. Микропорывы как явление приобрели печальную известность за последние десять

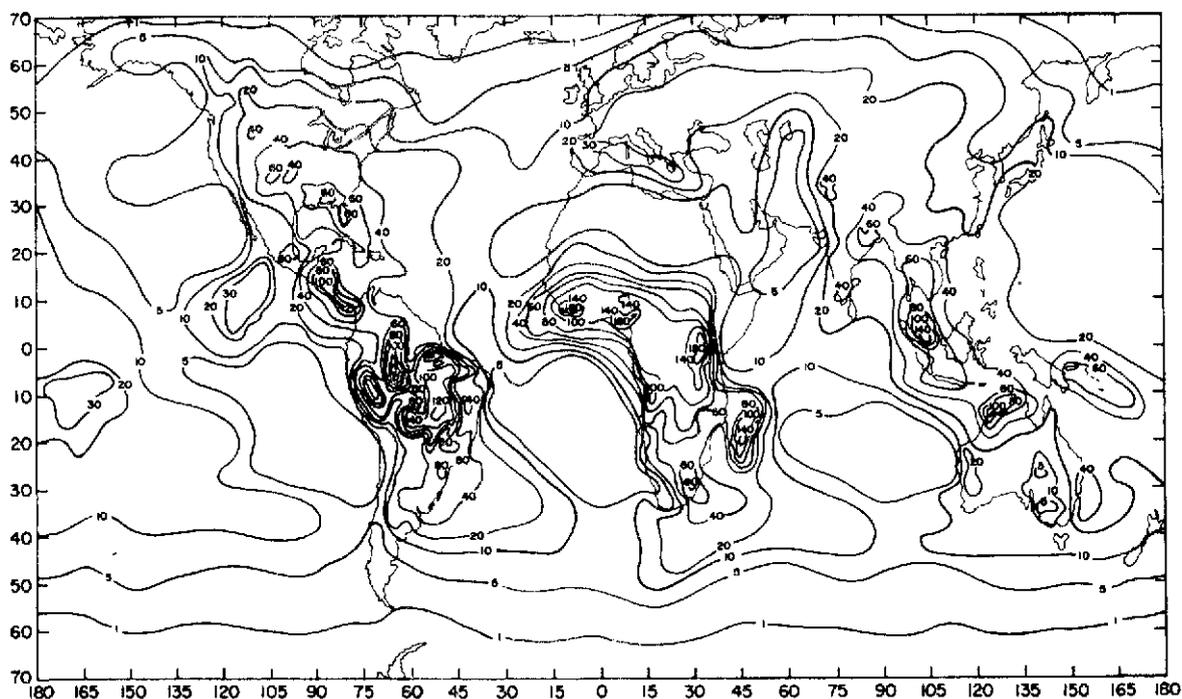


Рис. 3-21. Среднегодовое количество грозных дней во всем мире
(Источник: публикация ВМО, № 21 TP21, 1956 год)

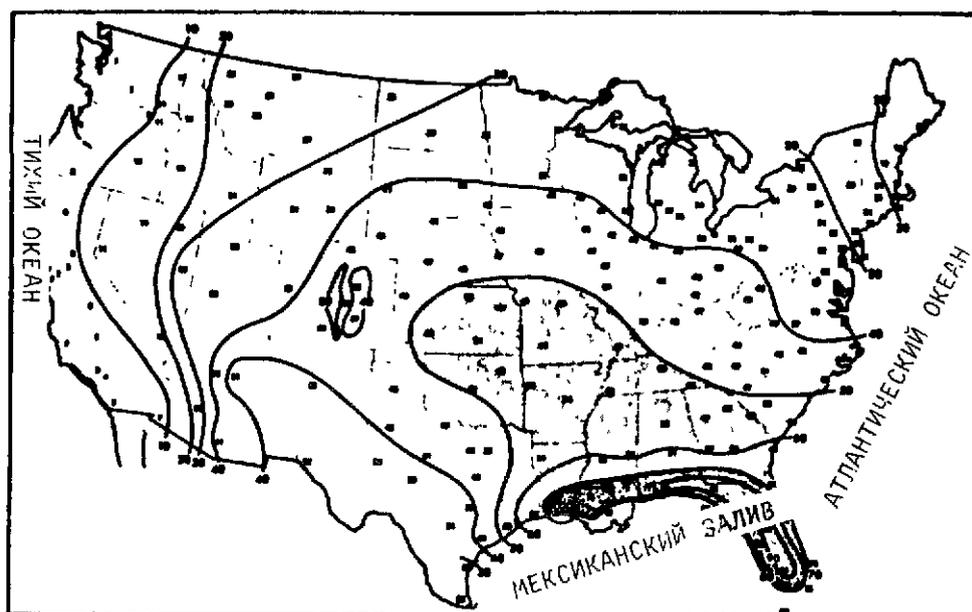


Рис. 3-22. Среднее число грозных дней в году; 1951-1975 гг.
(Корт и Гриффитс, 1982)

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	A	-	-
Западные равнины	A/N	M/N	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	M	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 - амплитуда L - малая ($\leq 0,5$)
 A - после полудня M - средняя ($0,5-I,0$)
 N - ночь H - большая ($\geq I,0$)

Рис. 3-23. Районы распространения гроз в Соединенных Штатах Америки (Истерлинг и Робинсон, 1985)

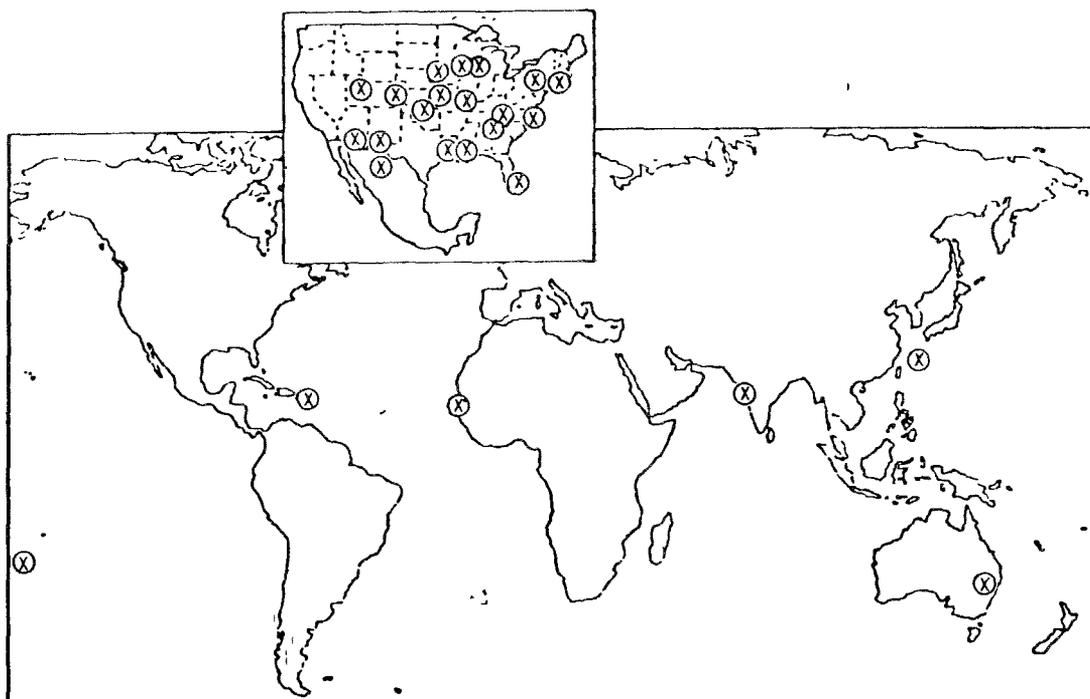


Рис. 3-24. Распределение авиационных происшествий/инцидентов, в которых установлено или предполагалось наличие микропорывов (Маккарти и Вильсон, 1984)

с небольшим 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 неосуществленной.

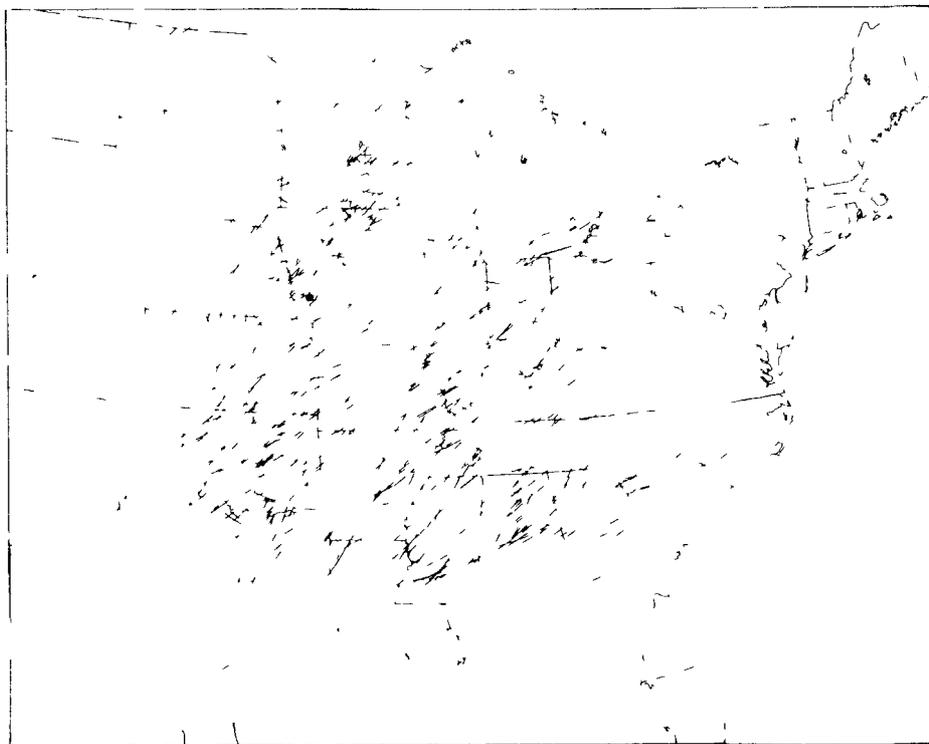


Рис. 3-25. Траектории 972 подтвержденных разрушительных (F4/5) торнадо, 1980-1982 годы (Гразулис и Эбби, 1983)

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 интегрированных систем сбора данных (AIDS), установленных на широкофюзеляжных реактивных самолетах "Боинг-747" авиакомпаний "Бритиш эруэйз" (BA) /57/ и "Ройял датч эрлайнз" (KLM) /58, 59/, а также на самолетах "DC-10" авиакомпании KLM. До 1984 года база данных охватывала 10 000 посадок самолетов

KLM, из которых на настоящий момент проанализировано 8573* и выбранные данные опубликованы, и 9136 посадок самолетов BA, причем все они проанализированы и результаты опубликованы. В Федеративной Республике Германии был начат аналогичный проект, в рамках которого данные AIDS собирались с использованием самолетов "А-300 Аэробус" авиакомпании "Дойче люфтганза" в течение одного года, а затем анализируют 61.

3.7.2 Данные по посадкам BA анализировались Королевским научно-исследовательским авиационным институтом Соединенного Королевства (RAE) в Бедфорде, с использованием метода дискретных порывов. Статистические данные о вероятности встречи со сдвигом ветра один на тысячу с конкретными схемами изменения встречного ветра, вычисленные по 9000 посадкам BA, показаны на рис. 3-26 57. Что касается данных KLM, то до сих пор опубликованы лишь результаты подробного анализа 1909 посадок в амстердамском аэропорту Схипхол и анализа по аэропортам всего мира с "наихудшими показателями". По этим результатам были вычислены статистические данные различной вероятности: рис. 3-27 58 показывает вероятность распределения плотности изменений ветра вдоль линии пути на каждые 30 м высоты, а на рис. 3-28 58 показана вероятность превышения данных значений сдвига ветра, и все они применимы к аэропорту Схипхол в Амстердаме.

Номинальная длина спуска, м	Совокупная длина спуска при 1000 посадках	Изменение скорости (длина спуска) I/3, (м/с)/м ^{I/3}	Длина спуска, м	Изменение скорости, узлы	Градиент узл./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. 3-26. Сдвиги ветра на одиночных спусках с вероятностью I сдвиг на 1000 посадок. Всемирные данные (Вудфилд и Вудс, 1984 год)

* 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 60.

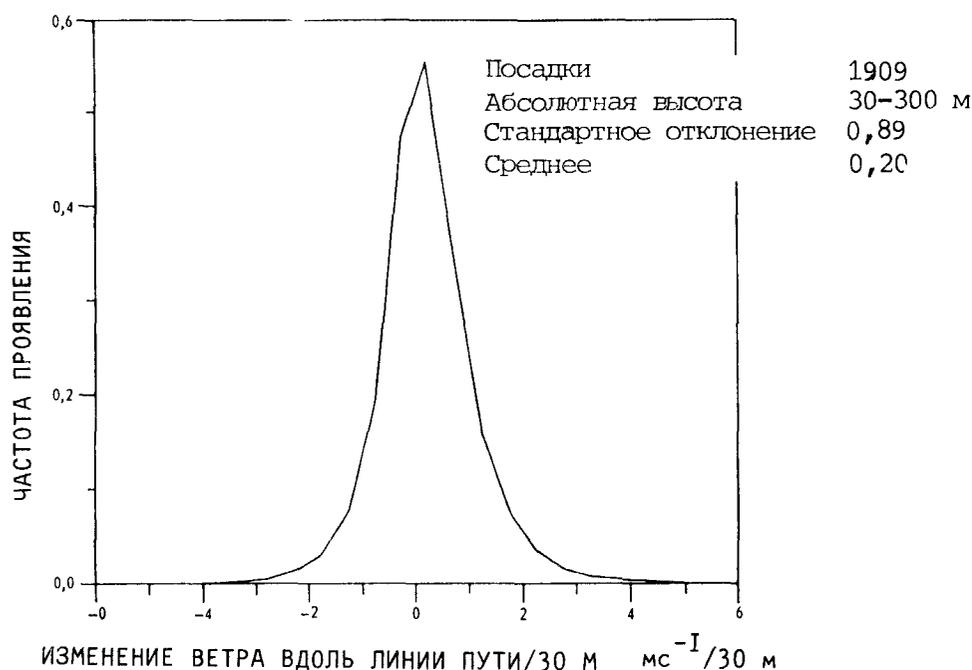


Рис. 3-27. Распределения плотности вероятностей изменения ветра вдоль линии пути на 30 м для аэропорта Схипхол в диапазоне высот от 30 до 300 м. На основании данных AIDS, ноябрь 1977-1978 гг. (Хавердингс, 1980)

3.7.3 Одной из главных причин выполнения работ по этим проектам 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, естественно, были получены ценные данные о видах и интенсивности сдвига ветра на многих аэродромах мира. Читателям, интересующимся сдвигом ветра на конкретных аэродромах, рекомендуется обратиться к источникам — работам Вудфилда и Вудса (1984) [57] и Хавердингса (1981) [59]. Тем не менее представляется целесообразным привести здесь три относящиеся к данному вопросу выдержки из работы Вудфилда и Вудса, в которых обсуждаются различные варианты сдвига ветра на различных аэродромах:

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.

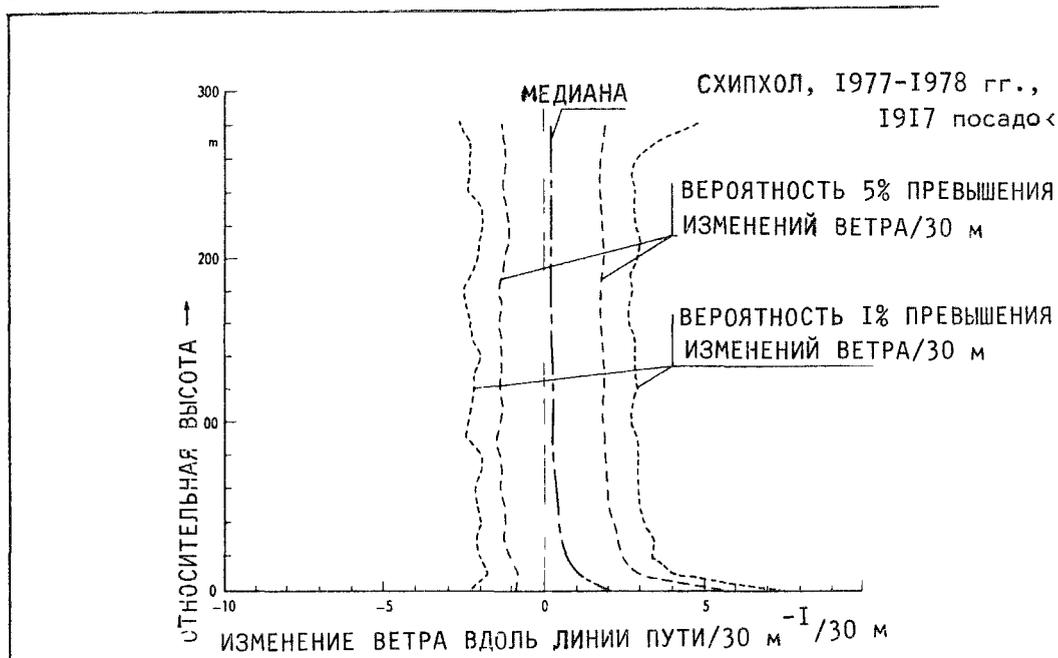


Рис. 3-28. Вероятность 50, 5 и 1% превышения изменений ветра вдоль линии пути/30 м на орду посадки, с изменением высоты (Хавердингс, 1980)

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 захода на ВПП-31, потому что на ВПП-13 посадки производятся по смещенной установке ILS и с поздним доворотом на 50 градусов. 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 является репрезентативным по широкому разнообразию условий во всем мире, общие распределения, как представляется, репрезентативны в отношении большинства систем международных маршрутов.

В работе Хавердингса [59] последовательно перечисляются аэропорты с "наихудшими показателями", 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 (по 300 посадкам или более).

3.7.4 Национальная аэрокосмическая лаборатория Королевства Нидерландов (NIR) также провела анализ данных KLI¹ 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 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. п. 5.2.2).

3.8 СПУТНЫЕ ВИХРИ

3.8.1 Сдвиг ветра образуется, конечно, и 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 воздействие таких вихрей 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 дополнении L к Правилам аэронавигационного обслуживания - правила полетов и обслуживание воздушного движения (PANS - RAC) (ИКАО Doc 4444). В ряде государств (например, в Соединенном Королевстве, Соединенных Штатах и Королевстве Нидерландов) ведутся исследования в целях разработки "системы предотвращения попадания в спутные вихри"; такая система позволит диспетчерам управления воздушным движением 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 (то есть рекомендуемых минимумов эшелонирования с учетом спутных вихрей) с тем, чтобы справиться с ожидаемым в будущем ростом объема воздушного движения 62, 63. Следует отметить, однако, что хотя подобные эксперименты косвенно подтверждают техническое возможности создания такой системы, на практике ввести ее в эксплуатацию в силу ряда причин пока не представляется возможным.

3.9 АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ПРИ СИЛЬНОМ ДОЖДЕ

3.9.1 Как полагают некоторые исследователи 64, в ряде авиационных происшествий, где в качестве одной из причин приводился сдвиг ветра (например, происшествие в международном аэропорту имени Джона Кеннеди с самолетом авиакомпании "Истерн", следовавшим рейсом 066, в 1975 году), ухудшение характеристик воздушного судна, которое имело место, в значительной мере может быть отнесено на счет аэродинамических потерь из-за сильного дождя. Предполагается, что 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).

В отчетах о моделировании посадок воздушных судов указывается, 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 9 узл./100 фут. Предполагалось также, что 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 сдвигу ветра на малых высотах и его опасности для авиации рекомендует продолжать исследования (см. добавление С).

3.9.3 Помимо продолжающихся дискуссий относительно аэродинамических потерь при сильном дожде, следует отметить, что имели место случаи, когда воздушные суда попали в сильную грозу и у них происходила полная потеря тяги всех двигателей. Примером может служить самолет "DC-9", потерпевший катастрофу в 1977 году при аварийной посадке после полной потери тяги всех двигателей в полете, что Национальное управление по безопасности перевозок 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 [65]. 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.

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 вначале остановиться на рассмотрении нескольких основных принципов полета. На рис. 4-1 показаны главные силы, действующие на воздушное судно в полете. Это тяга, обеспечиваемая одним или несколькими 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 b)). 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 потребная тяга прямо пропорциональна углу набора высоты. Возможные углы набора высоты можно вывести путем упрощения формулы (I) на рис. 4-1. Для присущих набору высоты малых углов $\sin \gamma \approx \gamma$ и формула (I) приобретает следующий вид:

$$T = D + W\gamma$$

и

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

Таким образом, угол набора высоты находится в прямой зависимости от величины преобладания тяги над лобовым сопротивлением и в обратной зависимости от веса. Применительно

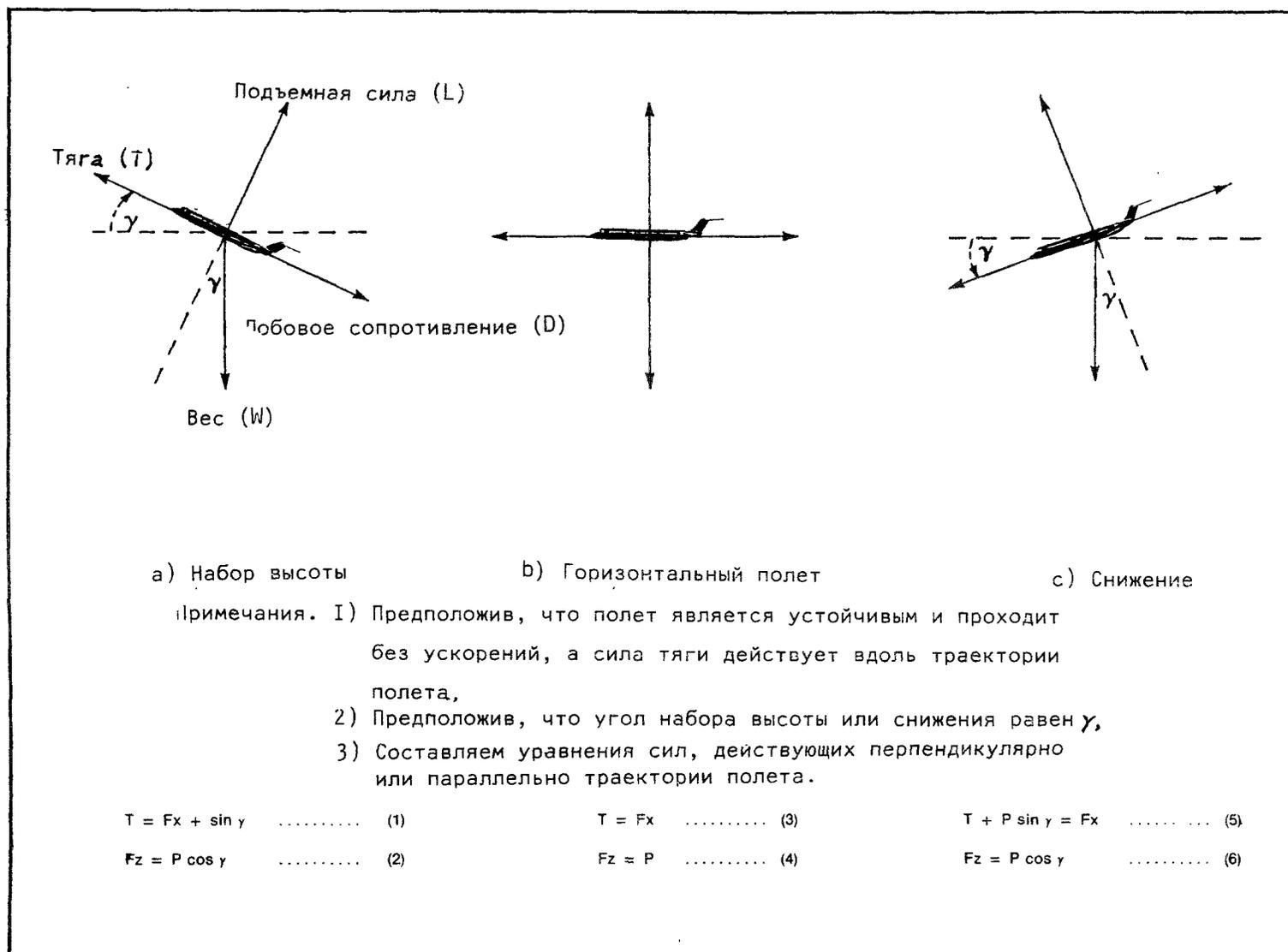


Рис. 4-1. Силы, действующие на воздушное судно в полете

к полету со снижением без ускорения (рис. 4-1 с) из формулы (5) видно, что потребная тяга меньше, чем в горизонтальном полете, поскольку часть веса ($W \sin \gamma$) в данном случае действует так же, как и тяга.

4.1.4 Здесь может оказаться уместным вопрос, какое отношение все это имеет к сдвигу ветра? Ответ на него заключается в подробном рассмотрении 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 двигателем (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, по которым:

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

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

зависят, среди всего прочего, от угла атаки (α) крыла. Из этих формул можно увидеть, что подъемная сила и лобовое сопротивление зависят от угла атаки (через C_L) и квадрата воздушной скорости, а ниже будет показано, 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 D).

4.1.5 Влияние сдвига ветра на воздушную скорость

4.1.5.1 Утверждение "ветер влияет на воздушную скорость", на первый взгляд 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 узл. в штилевых условиях

$$140 \text{ узл. (GS)} = 140 \text{ узл. (TAS)} - 0 \text{ (WIND)}$$

при постепенном усилении встречного ветра до 20 узл.

$$120 \text{ узл. (GS)} = 140 \text{ узл. (TAS)} - 20 \text{ узл. (WIND)}$$

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 $\sqrt{2}$, видим, что:

путевая скорость 140 узл. в штилевых условиях

$$140 \text{ узл. (GS)} = 140 \text{ узл. (TAS)} - 0 \text{ (WIND)}$$

при быстром возникновении встречного ветра до 20 узл. временно

$$140 \text{ узл. (GS)} = 160 \text{ узл. (TAS)} - 20 \text{ узл. (WIND)}$$

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

$$120 \text{ узл. (GS)} = 140 \text{ узл. (TAS)} - 20 \text{ узл. (WIND)}$$

как и в вышеприведенном примере.

О том, каким образом воздушное судно восстанавливает равновесие благодаря своей продольной устойчивости, говорится в п. 4.1.8, ниже.

4.1.5.2 Нарушение равновесия сил, действующих на воздушное судно, приводит к появлению результирующей силы, и тогда вместо формулы (I), в которой записано $T = D + W \sin \gamma$ или $T - D - W \sin \gamma = 0$ (т.е. результирующая сила отсутствует), при нарушении равновесия 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 $F = ma$ (масса \times ускорение), или $F = \frac{W}{g} a$. В условиях кратковременного воздействия сдвига ветра, когда равновесие нарушено, формулы с (I) по (6) выглядели бы так $\sqrt{3}$:

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

$$\begin{array}{l}
 \text{(набор высоты/снижение)} \\
 \text{(горизонтальный полет)}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 L - W \cos \gamma \\
 L - W
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} L - W \cos \gamma \\ L - W \end{array}} \right\} = \frac{W}{g} \cdot \text{ускорение перпендикулярно траектории полета}$$

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. Подчеркнутым выделен тот факт, 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. Здесь следует отметить, говоря о кратковременном воздействии сдвига ветра на воздушную скорость, 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 в том случае, когда воздушное судно производит посадку, и эти вопросы рассматриваются в п. 4.2.2.4.

4.1.6 Влияние сдвига ветра на угол атаки

4.1.6.1 В п. 4.1.4 говорилось, что сдвиг ветра может влиять на угол атаки. Припомним, что в п. 2.1.1 внимание обращалось на 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 (см. п. 3.2.8) и особенно нисходящие порывы, связанные с конвективной облачностью (см. п. 3.5.3). Ниже будет рассмотрено воздействие 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.

4.1.6.2 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 действительно, зачастую это 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

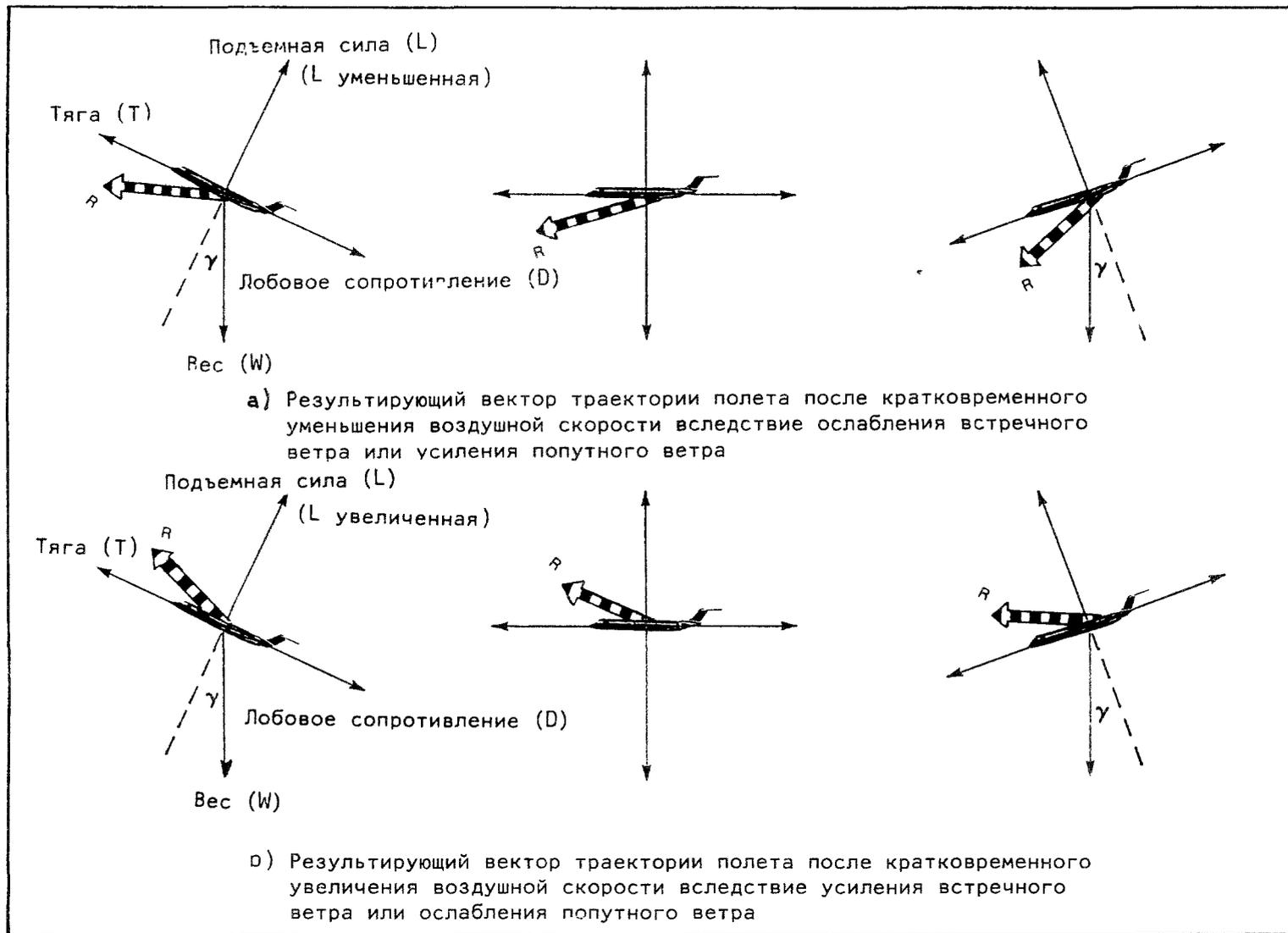


Рис. 4-2. Результирующий вектор траектории полета, связанный со сдвигом горизонтального ветра

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 140 узл., при попадании в нисходящий поток, имеющий скорость 10 узл. (1000 фут/мин), угол атаки уменьшается примерно на 4° при отсутствии какого-либо изменения положения по тангажу. Следует отметить, что хотя скорость 10 узл. является довольно типичной для большинства нисходящих потоков, при сильных грозах отмечались пиковые значения скорости нисходящих потоков, превышающие 50 узл.

4.1.6.3 Как и в случае изменения воздушной скорости вследствие сдвига ветра, о чем говорилось в п. 4.1.5.1, 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. 4.2.2.4.

4.1.7 Влияние бокового сдвига ветра

4.1.7.1 Нельзя не заметить, что 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 уже упоминалось в п. 2.1.2, 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. Влияет это на углы сноса и скольжения, создавая дополнительные затруднения для пилота в уже и без того сложной обстановке. Некоторые из этих затруднений обсуждаются в п. 4.2.2.6.

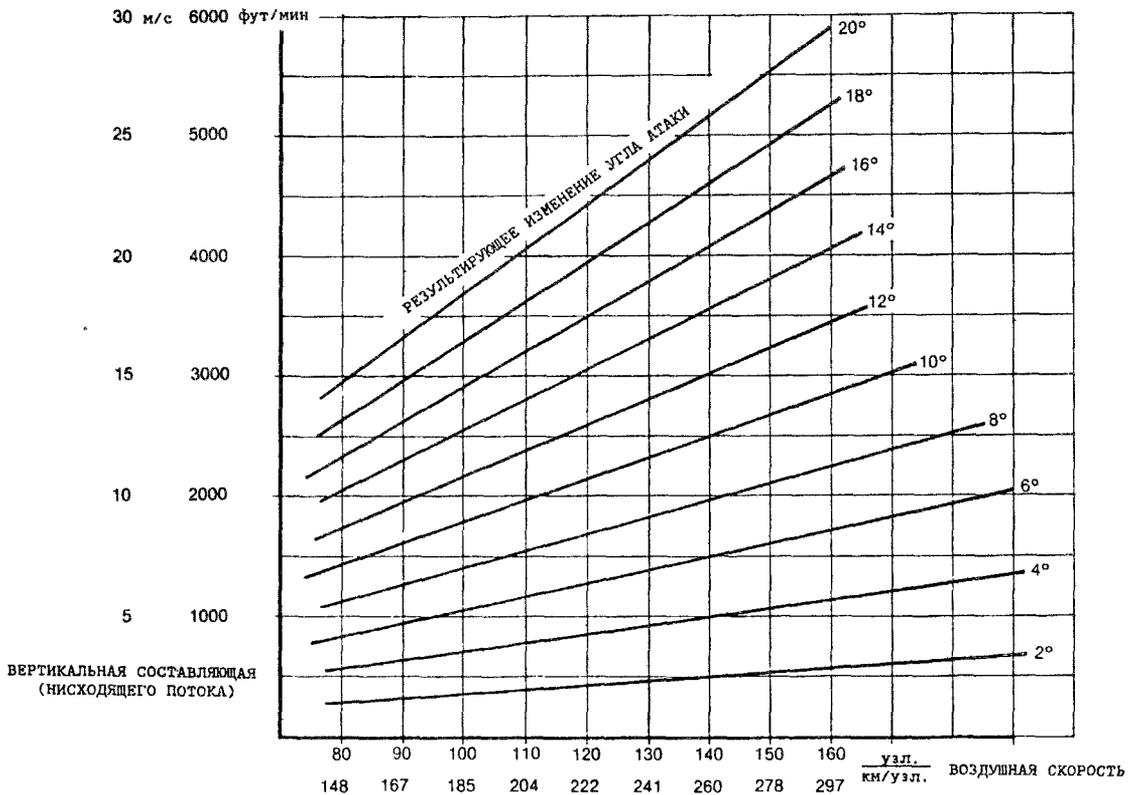
4.1.8 Восстановление равновесия благодаря продольной устойчивости

4.1.8.1 В завершение этого общего введения в область влияния сдвига ветра на летные характеристики воздушного судна необходимо рассмотреть, как воздушное судно восстанавливает состояние равновесия после его нарушения, которое могло быть вызвано сдвигом



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

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



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

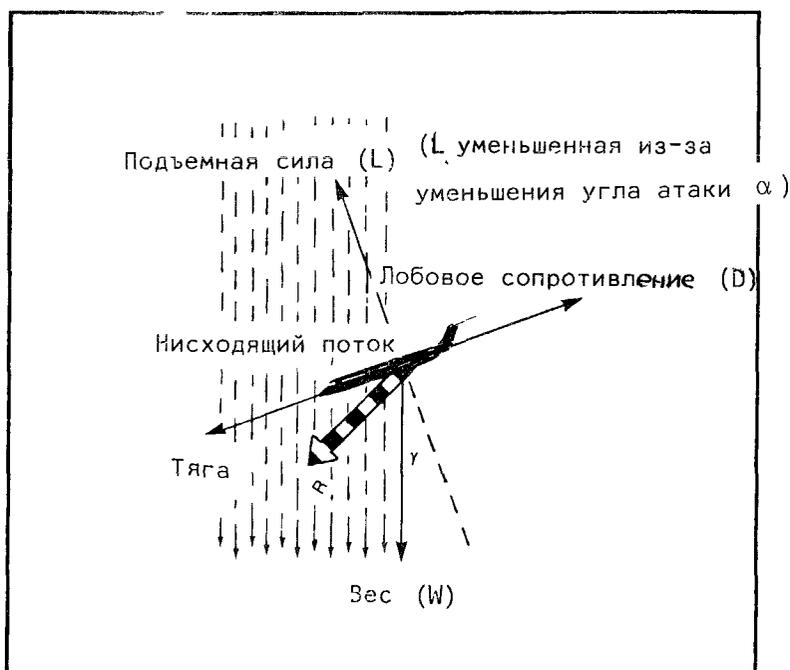


Рис. 4-4. Результирующий вектор траектории полета, связанный со сдвигом в вертикальной составляющей ветра (нисходящем потоке) - гипотетическом остронаправленном устойчивом нисходящем потоке

ветра. Эффект восстановления состояния равновесия называют устойчивостью воздушного судна. Устойчивость воздушного судна - это его способность возвращаться в исходное состояние после того, как оно было незначительно нарушено. Обычно воздушное судно проектируется таким образом, чтобы оно было устойчивым по всем трем осям (тангажа, крена и рыскания). В случае нарушения состояния равновесия из-за сдвига ветра особая заинтересованность связана с устойчивостью по оси тангажа, или продольной устойчивостью. Продольная устойчивость обеспечивает в случае изменения угла атаки немедленное и самопроизвольное вступление в действие восстанавливающих сил, возвращающих угол атаки к его первоначальному значению [67]. Подобный анализ этих сил является очень сложным вопросом, и здесь этот вопрос рассматриваться не будет. Однако нелишне указать, что при проявлении продольной устойчивости восстанавливающие силы главным образом обеспечиваются хвостовым, или горизонтальным стабилизатором. В отношении конкретных условий полета, которым здесь уделяется главное внимание (горизонтальный полет по прямой, полет с набором высоты или снижением, т.е. в основном, полет без разворотов), каждому углу атаки соответствует индикаторная 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, балансировочную скорость).

4.1.8.2 "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, с периодом колебания около 40 секунд. Довольно необычный термин "фугоида" был придуман специалистом по аэродинамике Ланчестером, работавшим 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. 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 долгий и им можно управлять при помощи нормальных действий пилота, выдерживающего постоянный угол тангажа. Изменения угла атаки, например, из-за нисходящих или восходящих потоков (см. рис.4-3) приводят к значительно демпфированным колебаниям по тангажу с периодом около пяти секунд, которые обычно называют колебаниями короткого периода [7].

4.1.8.3 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 изменяющаяся под воздействием сдвига ветра воздушная скорость не вернется к исходной, если ее не скорректирует пилот, управляя двигателем и/или положением воздушного судна по тангажу [7].

4.2 ЛЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЯХ СДВИГА ВЕТРА

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, рекомендуемым для использования пилотами при случайном попадании в эти условия. Можно будет видеть, что из этого следует вывод о том, что по возможности следует избегать встречи со сдвигом ветра. Может быть задан вопрос: зачем в таком случае тратить столько времени на столь подробный анализ этого явления и его воздействия на воздушное судно? Ответ заключается в том, что анализ метеорологических аспектов, помимо содействия авиационным метеорологам, создает прочную основу оказания 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 же 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, таким образом, иметь в виду, что нижеследующие рассуждения приводятся не для того, чтобы поощрять пилотов летать в условиях известного или предполагаемого наличия сдвига ветра; наоборот, самый решительный совет - ИЗБЕГАТЬ, ИЗБЕГАТЬ, ИЗБЕГАТЬ.

4.2.2 Сдвиг встречного/попутного ветра

4.2.2.1 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, нисходящими порывами и т.д., рассматривается в п. 4.2.3, так как в этом случае речь идет о сдвиге вертикальной составляющей ветра (при нисходящем/восходящем потоке), помимо сдвига встречного/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. В сущности, 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 скорости изменения скорости с изменением высоты (измеряемой, в частности, в узлах на 100 футов) и по общей величине изменения скорости ветра (измеряемой, в частности, 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. Следует отметить, что обе эти 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 совершенно независимо от того, находится там воздушное судно или нет. Обе характеристики оказывают влияние на производящее посадку или взлет воздушное судно, но это еще не все, поскольку легко заметить, что воздействие будет зависеть 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 $\frac{8}{7}$. В приведенном в п. 2.4.3 примере данная интенсивность сдвига ветра составляет 4,2 узл./100 фут, а вертикальная скорость снижения воздушного судна - 13 фут/с, следовательно, ветер, с которым встречается данное воздушное судно, будет замедляться на $\frac{4,2 \times 13}{100} = 0,546$ узл. с каждой секундой $\frac{9}{7}$. 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 1000 фут AGL до 500 фут AGL составляет 21 узл., 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 21 узл. с темпом 0,546 узл. в секунду. 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.

4.2.2.2 Для воздушного судна, производящего посадку при быстро уменьшающемся встречном или усиливающемся 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 не будет иметь место вмешательство пилота. Посадка при усиливающемся встречном или уменьшающемся попутном ветре

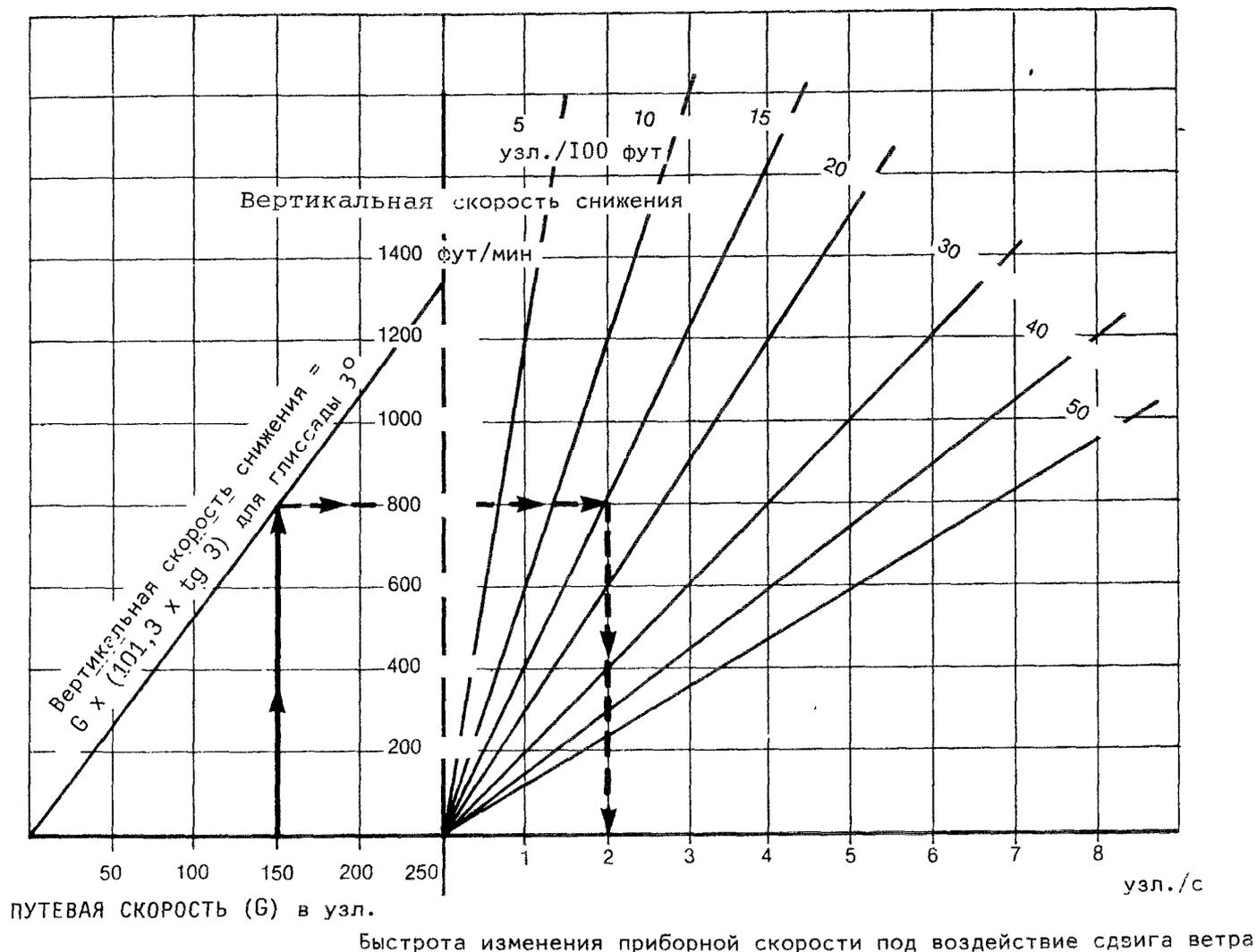


Рис. 4-5. Быстрота изменения приборной воздушной скорости под воздействием сдвига ветра и вертикальная скорость снижения воздушного судна (по Лорду, 1978)

приводит к возрастанию воздушной скорости, эквивалентному быстроте сдвига (общей величине изменения скорости ветра, и в результате воздушное судно летит 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).

4.2.2.3 С точки зрения пилота фактическая последовательность событий, которые он может наблюдать по бортовым приборам, в значительной степени будет зависеть от конкретного сочетания обстоятельств, включая сам сдвиг, высоту начального попадания в сдвиг над поверхностью земли, конфигурацию воздушного судна и действия пилота. Последовательность событий, однако, 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.

4.2.2.4 Технические приемы, рекомендуемые для использования пилотами с целью сохранения заданной траектории полета, рассматриваются в следующем разделе, но чтобы продолжить начатый разбор вопроса о влиянии конкретных условий сдвига ветра, необходим краткий обзор мотивировки применения таких приемов. 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, таким образом, 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. Ранее говорилось, что 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 составляет 3 узла в секунду, и это означает, что такое воздушное судно может сохранять горизонтальный полет с постоянной скоростью при понижающем летные характеристики сдвиге ветра 3 узл./с. Однако следует отметить, что интенсивность сдвига ветра может превышать эту способность.

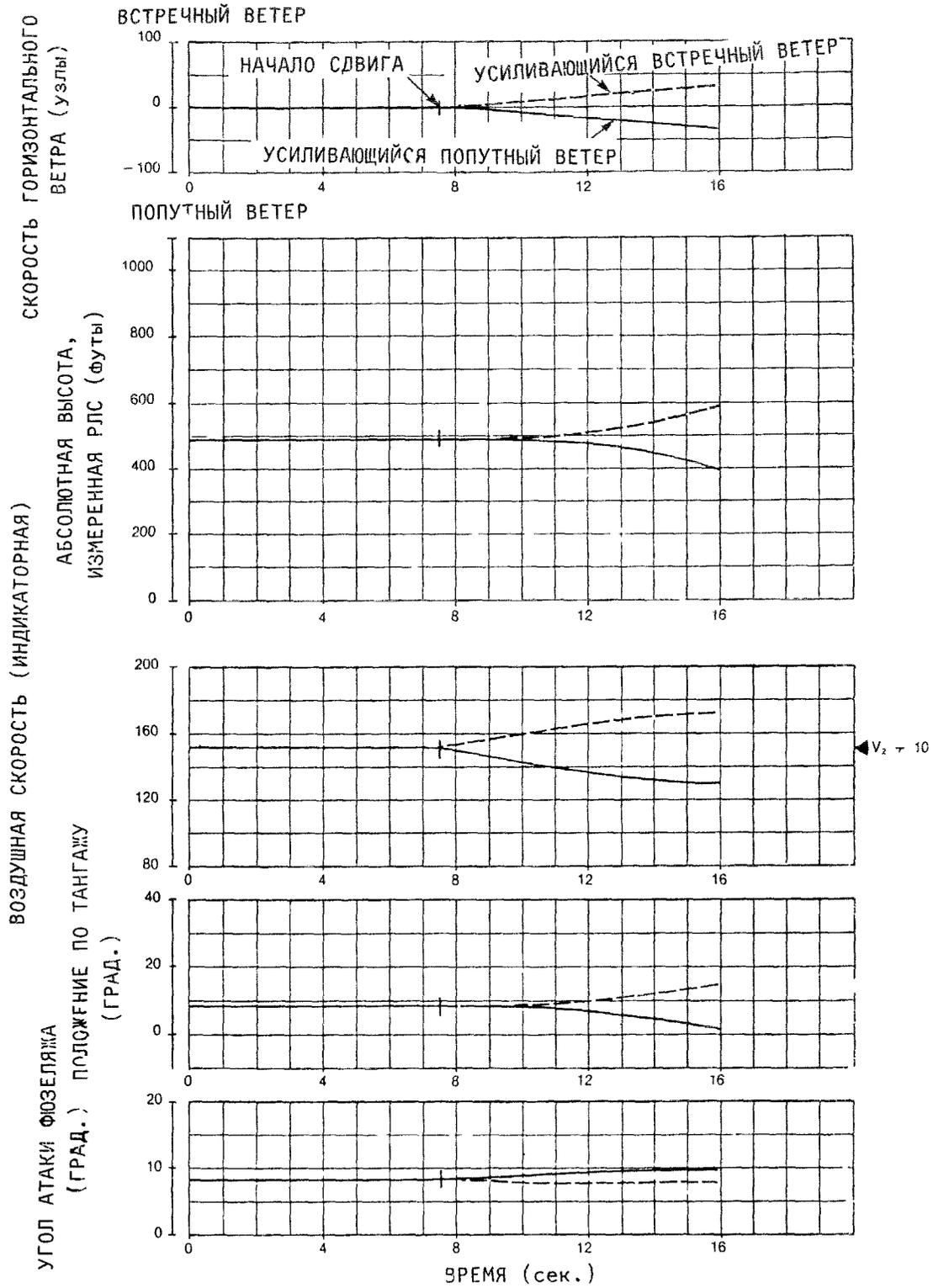
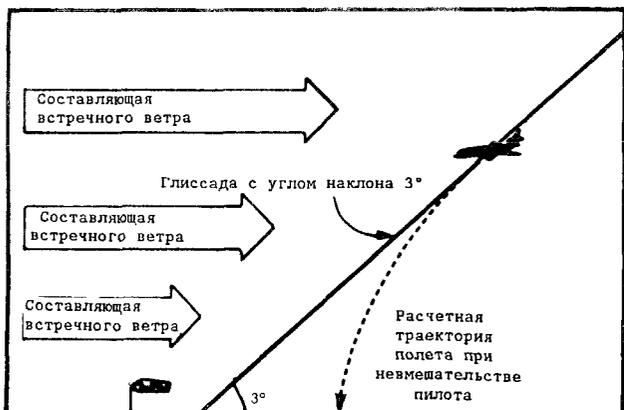
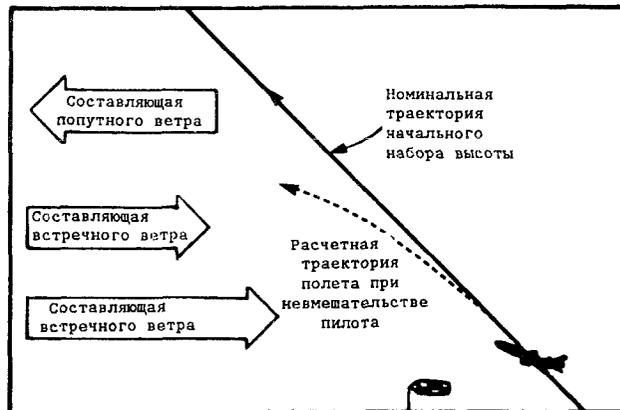


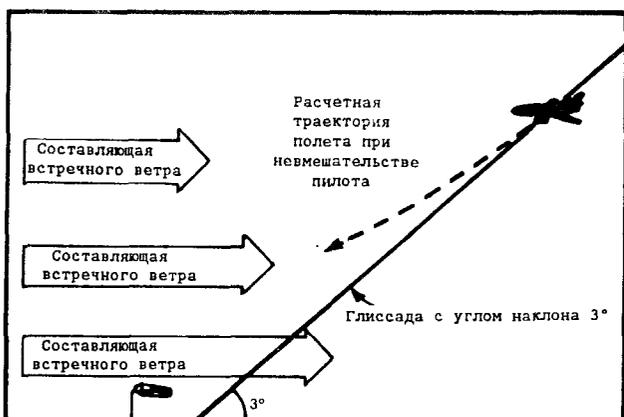
Рис. 4-6. Начальная реакция воздушного судна с фиксированным положением органов управления на сдвиг составляющих встречного/попутного ветра (Учебное пособие ФАУ по сдвигу ветра, 1987)



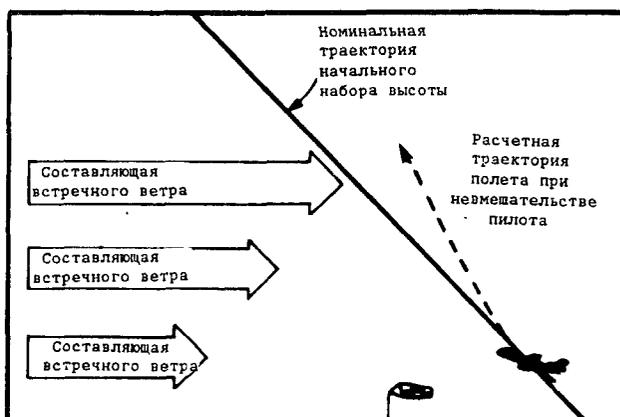
а) Посадка при ослабевающем встречном ветре



б) Взлет при ослабевающем встречном ветре



с) Посадка при усиливающемся встречном ветре



д) Взлет при усиливающемся встречном ветре

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

Конечно, 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. Можно видеть, 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 [27].

4.2.2.5 Для управления полетом с целью выдерживания траектории полета воздушного судна, в дополнение к использованию тяги, пилот также 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. 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 представляет собой, разумеется, неделимый процесс, поскольку воздушное судно в любой момент располагает каким-либо ограниченным общим 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 действительно 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 он также связан при этом с одним конкретным преимуществом, которое заключается в том, что реакция воздушного судна (т.е. влияние на него 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 п. 4.2.2.1, 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 25 узл. для реактивного транспортного воздушного судна). Рекомендуются в следующем разделе технические приемы для выдерживания траектории полета при встрече со сдвигом ветра включают корректирование как тяги, так и угла тангажа. Чтобы у читателя не создалось ложное впечатление, следует указать, что хотя большинство профилей сдвига в ретроспективе, т.е. в результате анализа структуры профилей после свершившегося факта, могут показаться вполне соизмеримыми с возможностями

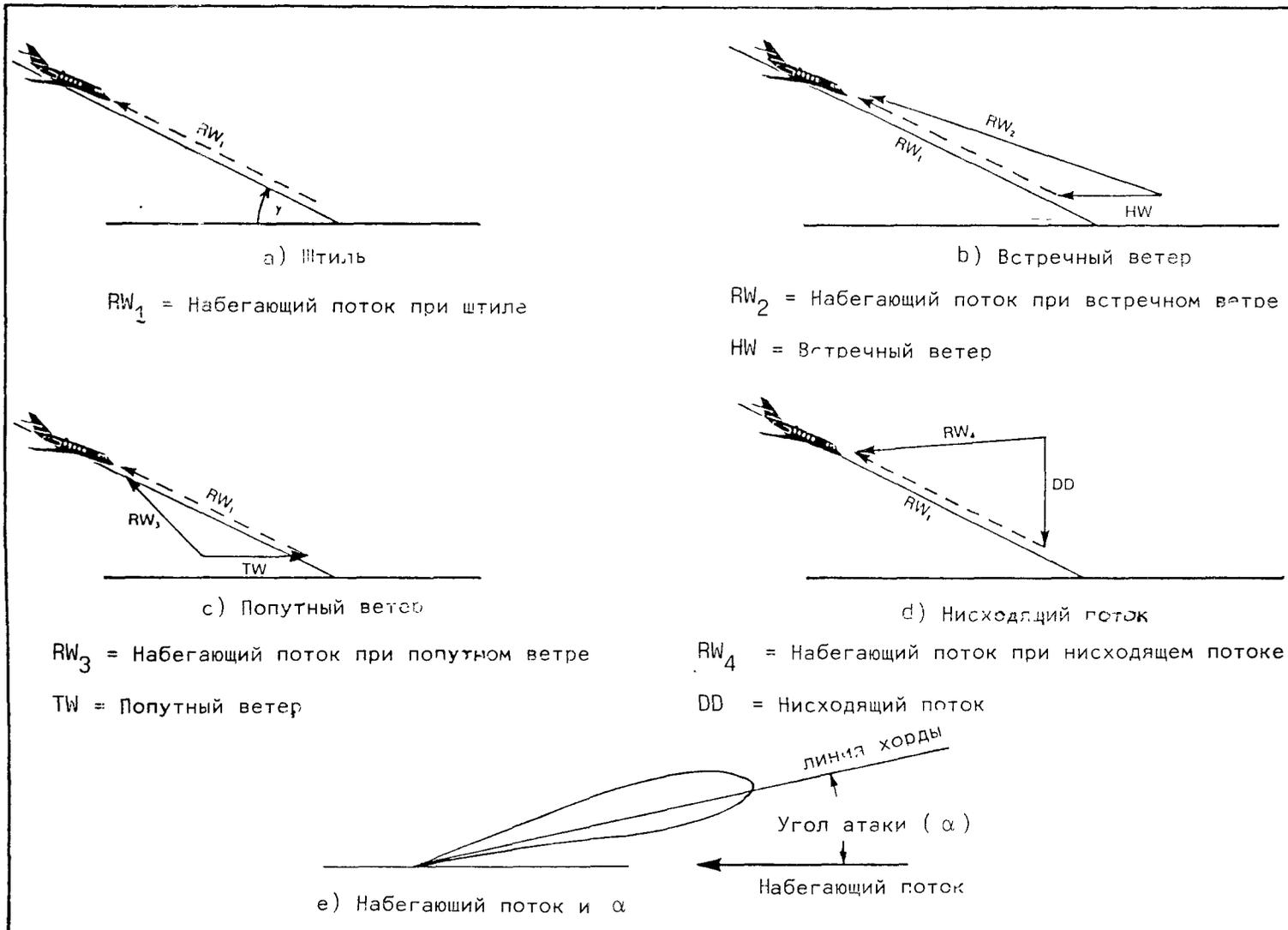


Рис. 4-2. Набегающий поток, который воздействует на воздушное судно при посадке в различных условиях устойчивого ветра

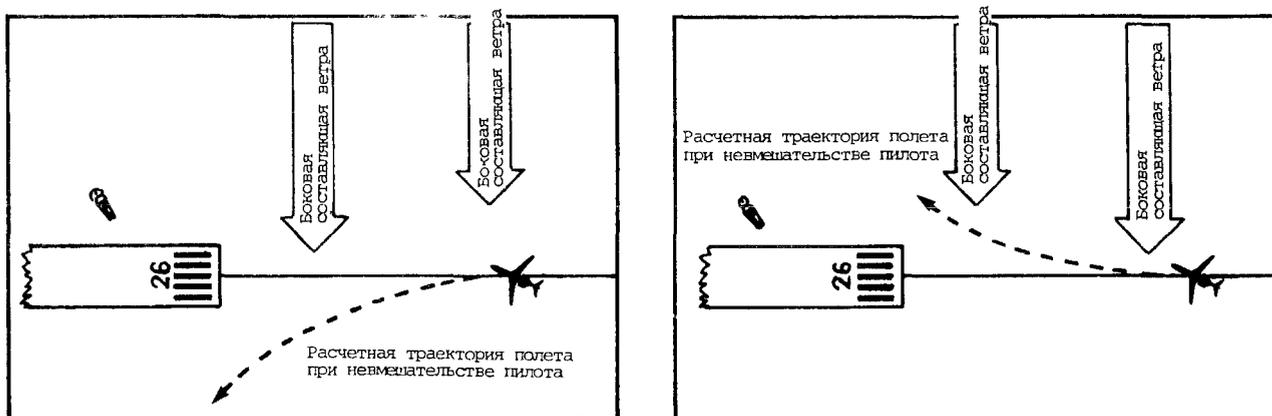
воздушного судна, в реальных условиях сдвига ветра пилот не имеет представления о том, насколько интенсивен предстоящий сдвиг или какова будет его длительность. Следовательно, в случае превышения определенных параметров (о чем говорится в п. 4.3.4), выполняется уход на второй круг.

4.2.2.6 В пункте 4.1.7 говорилось 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 крену и курсу. Само собой разумеется, что 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. Следует отметить, что 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 [5]. Изменение боковых составляющих ветра, происходящее одновременно со сдвигом встречного/попутного ветра, значительно увеличивает нагрузку на пилота в и без того достаточно сложной и динамичной обстановке.

4.2.3 Сдвиг вертикальных составляющих ветра (восходящие/нисходящие потоки)

4.2.3.1 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 п. 4.1.6, где указывается, что главными причинами опасности являются нисходящие порывы/микропорывы. При нисходящем порыве (микропорыв - это концентрированная форма нисходящего порыва), как это описывается в пп. 3.5.3 и 3.5.4, 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 микропорывы 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.

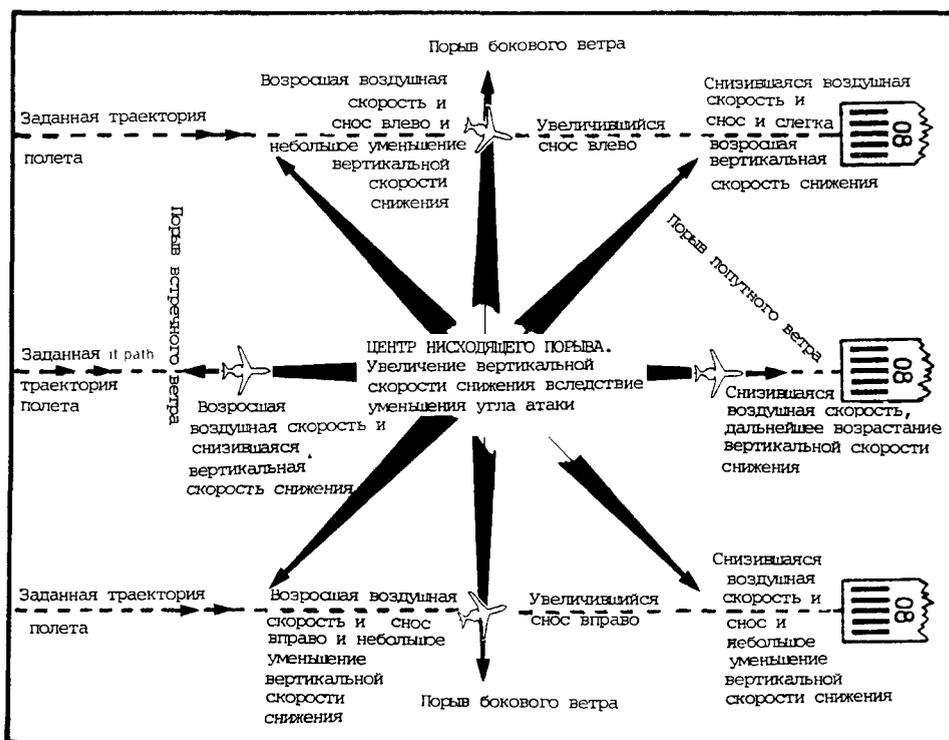
4.2.3.2 В первом рассматриваемом случае воздушное судно пролетает через нисходящий порыв, более или менее находящийся на траектории полета, например, на глассаде, как показано на рис. 4-10 а). При встрече с нисходящим порывом воздушное судно обычно вначале сталкивается с усиливающимся встречным ветром 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 иметь место не всегда.



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



б) Нисходящий порыв справа от глissады.

а) Нисходящий порыв в глissаде

с) Нисходящий порыв слева от глissады

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

Усиливающийся встречный ветер вызывает увеличение воздушной скорости, воздушное судно кабрирует и летит выше глиссады или траектории набора высоты. Здесь следует заметить, что хотя пилот может противодействовать этому и вернуться на первоначальную траекторию полета, уменьшив тягу, все же (как это будет рассмотрено ниже), если пилот предполагает, что усиление встречного ветра обусловлено нисходящим порывом, уменьшение тяги не желательно, и, напротив, рекомендуется немедленно начать маневр ухода на второй круг. 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 (см. рис. 4-8 d)) и продолжает уменьшаться по мере нарастания скорости нисходящего потока [10]. Это приводит к пикированию воздушного судна, которое в обратном порядке проходит через заданную глиссаду 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 создать эквивалентную скороподъемность путем увеличения тяги и угла тангажа. Последовательность событий при предполагаемом невмешательстве пилота показана на рис. 4-II, а начальная реакция воздушного судна на сдвиг при фиксированном положении органов управления в нисходящем потоке и при попутном ветре показана на рис. 4-I2.

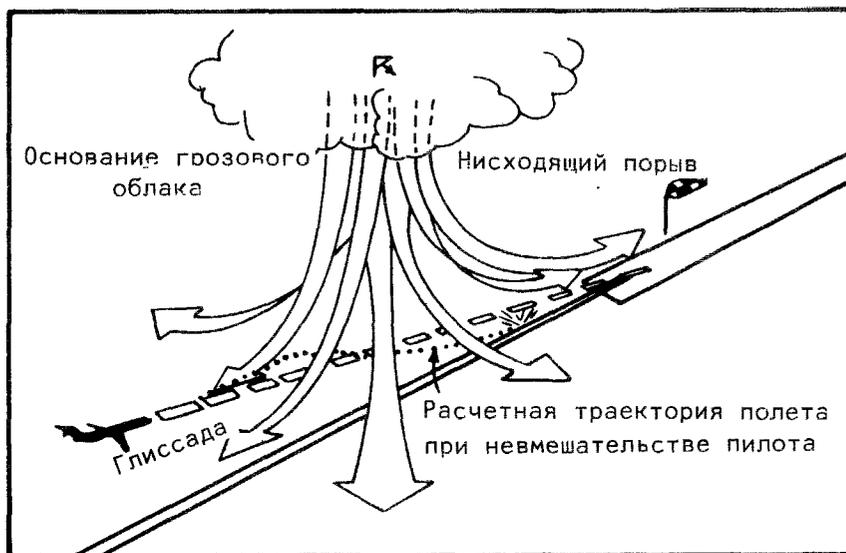


Рис. 4-II. При посадке с прохождением через нисходящий порыв происходит изменение траектории полета (по Мелвину, 1977)

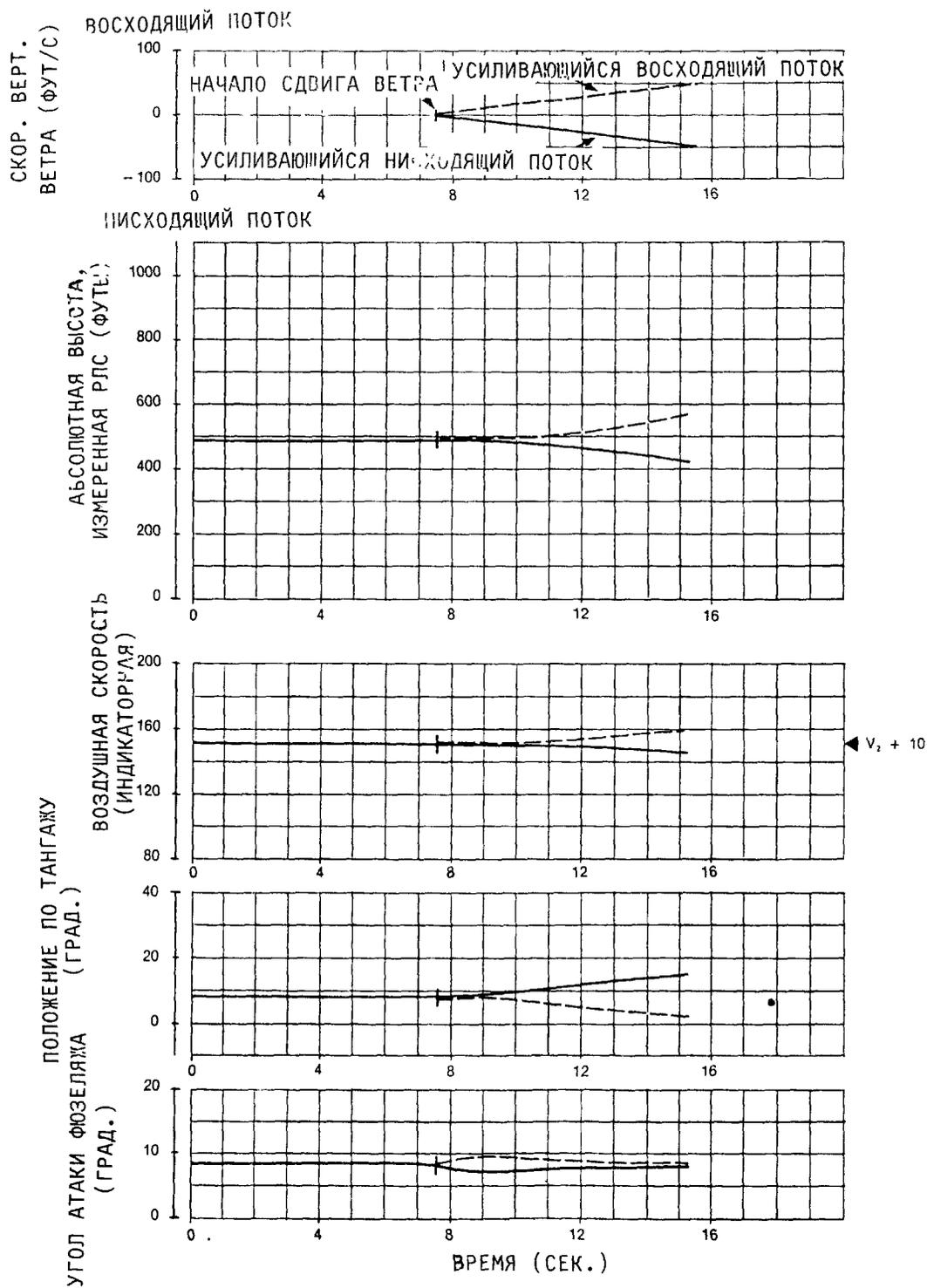


Рис. 4-12. Начальная реакция воздушного судна при фиксированном положении органов управления на воздействие вертикальных составляющих ветра (восходящий/нисходящий поток) (ФАУ, Учебное пособие по сдвигу ветра, 1987)

4.2.3.3 Если нисходящий порыв находится в стороне от траектории полета (рисунки 4-10 b) и c)), 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, поскольку в первом случае придется иметь дело в меньшей степени с вертикальной составляющей, а в большей степени - с боковой составляющей ветра. Однако в силу того факта, что нисходящие порывы/микрорывы 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 появляется 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 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, более подробно рассматриваются в разделе 4.3.

4.2.3.4 В п. 3.5.2 главы 3 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 имели 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.

4.2.3.5 В п. 3.5.5.5 упоминалось о возможных последствиях для воздушного судна при его прохождении через торнадо или зону его следа. Конкретный подобный случай, детально документированный Роучем и Файндлейтером (1983), относился к гибели воздушного судна "Фоккер Ф-28", вылетевшего в 16.04 (UTC) 6 октября 1981 года и следовавшего по маршруту Эйндховен. 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 фут) 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 несколько снимков торнадо, а затем, менее чем через минуту, дыма над местом катастрофы. Исходя из этих и других данных, управление гражданской авиации Королевства 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

4.3.1 Общие положения

4.3.1.1 Прежде чем пилот сможет использовать описываемую ниже в настоящем разделе 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, определяет, что они означают, использует соответствующие приемы для выхода из создавшегося положения, и моментом, когда воздушное судно реагирует на это надлежащим образом. Сокращение запаздывания по времени до минимума возможно только при раннем распознавании пилотом условий сдвига ветра и применении им без колебаний рекомендуемых приемов выхода из этих условий.

4.3.1.2 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 этим грозным явлением, и 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, обеспечивающего сигнализацию о сдвиге ветра, посредством переданных предупреждений 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 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 7).

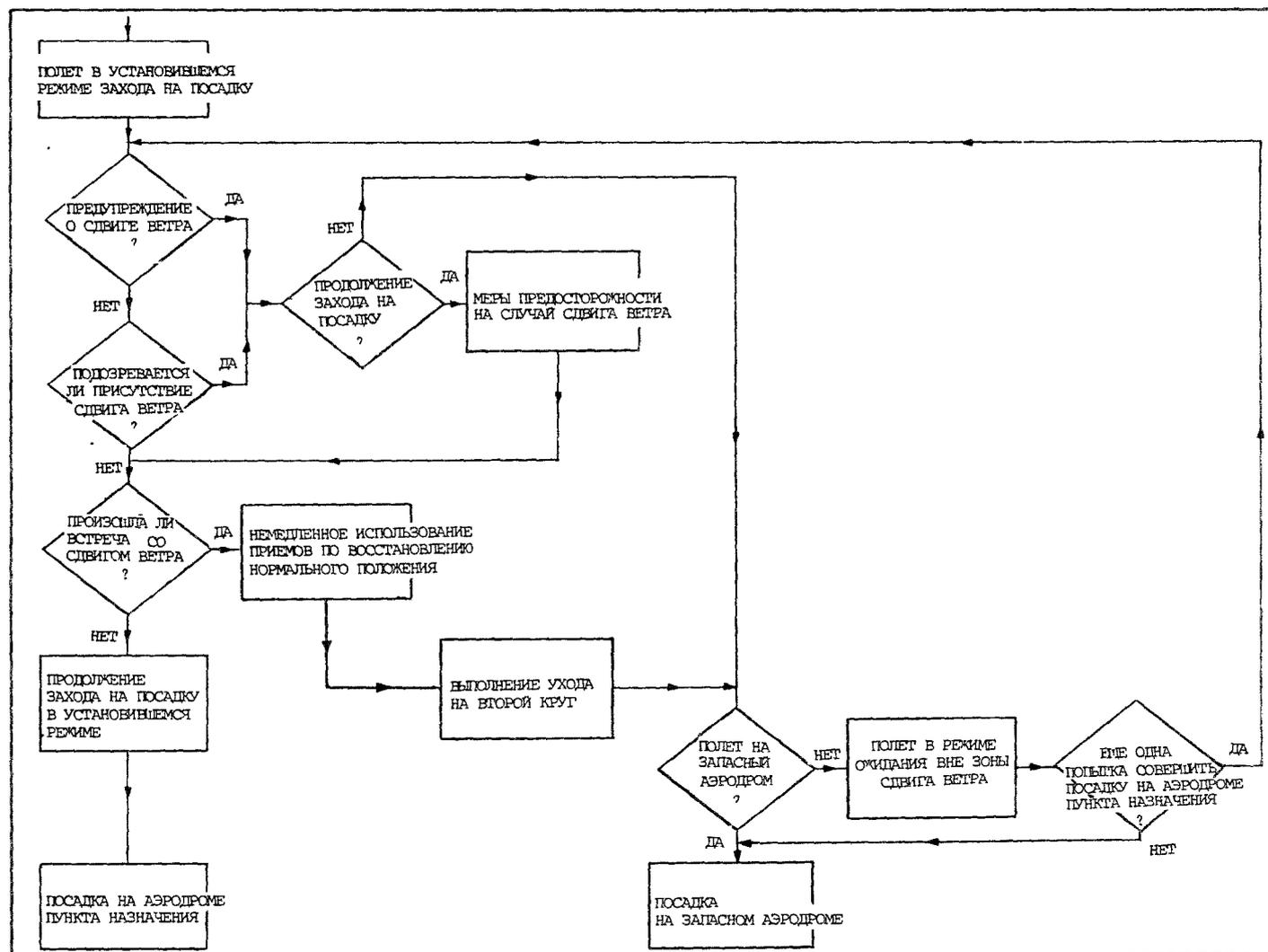


Рис. 4-13. Схема последовательности решений и действий пилота в отношении сдвига ветра

4.3.2 Распознавание сдвига ветра

4.3.2.1 Внешние метеорологические признаки

4.3.2.1.1 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/взлета, заставляя его более тщательно следить за показаниями бортовых приборов. Внешними признаками, непосредственно наблюдаемыми пилотом, являются следующие:

- "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. п. 3.5.1.6);
- чечевицеобразное облако (ровное высокослоистое облако в форме линзы), указывающее на наличие стоячих волн, обычно в наветренную сторону от горы (см. п. 3.2.8);
- шквалистое облако, окаймляющее основание грозы и движущееся впереди пояса дождя и указывающее на наличие фронта порывов (см. п.3.5.2.3);
- 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);
- участки вздымаемой ветром пыли, особенно имеющие кольцеобразную форму, расположенные под конвективными облаками и указывающие на присутствие нисходящего порыва (см. п. 5.1.2.1.1 и рис. 3-16);
- реакция ветровых конусов на ветер различных направлений;
- шлейфы дыма, срезанные так, что верхние и нижние части движутся в различных направлениях;
- 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.

4.3.2.1.2 Предупреждения 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. Эти предупреждения могут основываться главным образом на донесениях пилотов вследствие того, что по-прежнему

трудно вести наблюдения за сдвигом ветра с земли (см. главу 3). 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.

4.3.2.2 Показания бортовых приборов и/или сигналы бортового оборудования

4.3.2.2.1 Что касается признаков, наблюдаемых из кабины экипажа, они могут определяться по показаниям приборов, а на воздушных судах, оснащенных соответствующим оборудованием, и по данным специальных 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 этом 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.

4.3.2.2.2 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, высотемеру или по сигналу системы предупреждения о сближении с землей. Бортовой метеорадиолокатор может способствовать обнаружению и обходу стороной конвективных очагов. Все 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.

4.3.2.2.3 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.

4.3.2.2.4 В таблице 4-I 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 пилота (PIREP), в котором указывается, что у другого самолета только что произошло уменьшение воздушной скорости на 10 узл. 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).

4.3.2.2.5 Ориентировочные данные, приводимые в таблице 4-I, применимы к полетам в районе аэропорта (в пределах 3 миль от места взлета или посадки вдоль намеченной траектории полета до высоты 1000 фут AGL). Хотя встреча с условиями погоды, указываемыми в таблице 4-I, на высотах более 1000 фут 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-I не может освободить от обязанности применять здравый смысл при принятии решений о мерах уклонения от указанных встреч.

4.3.3 Меры предосторожности

4.3.3.1 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 "B-737", добавление D, под заголовком "предотвращение". Меры предосторожности применительно к заходу на посадку и посадке

Таблица 4-1. Ориентировочные данные для определения вероятности сдвига ветра при микропорыве (Учебное пособие ФАУ по сдвигу ветра, 1987)

Наблюдаемое явление	Вероятность сдвига ветра
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 градусами Цельсия	Средняя
Сигнализация бортовой системы обнаружения сдвига ветра (сообщенная или наблюдаемая)	Большая
Донесение пилота о падении или нарастании воздушной скорости:	
- на 15 узл. или более	Большая
- менее чем на 15 узл.	Средняя
Предупреждение LLWAS/изменение скорости ветра:	
- на 20 узл. или более	Большая
- менее чем на 20 узл.	Средняя
Прогноз конвективных условий погоды	Малая
<p><u>Примечание.</u> 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.</p>	
<p><u>ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ.</u> 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.</p>	

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 (I987) I27. 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. перечень в п. 4.3.3.3, ниже). 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" и сопутствующие документы "Справочник пилота по сдвигу ветра", "Программа подготовки по примерам сдвига ветра", "Подтверждающие данные о сдвиге ветра" и наглядные пособия "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, изготовляемым 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 его переработку 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 такой переработки.

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

4.3.3.2 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.

4.3.3.3. 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".

4.3.3.4 Меры предосторожности при взлете

Величина тяги

4.3.3.4.1 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.

Выбор ВПП

4.3.3.4.2 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

4.3.3.4.3 Выбор положения закрылков для взлета зависит от типа воздушного судна. Следует учитывать возможность использования следующих положений закрылков, если нет ограничений по высоте пролета над препятствиями и/или по градиенту набора высоты:

<u>Тип воздушного судна</u>	<u>Взлетное положение закрылков</u>
B-727	I5
B-737	от 5 до I5
B-747	20
B-757	20
B-767	20
DC-9-10	I0 или 20
DC-9-20, -30, -40, -50	5 или I5
MD-80	5 или I5
DC-10	5 или 20
L-1011	от I0 до 22

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 выше 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

4.3.3.4.4 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.

4.3.3.4.5 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 загрузки 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 2000 фут от конца располагаемой поверхности ВПП уменьшает вероятность выкатывания и обеспечивает максимальный запас энергии после отрыва.

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

- 1) 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.
- 2) Определить предельную максимальную массу для длины ВПП и соответствующее значение V_R для выбранной ВПП.
- 3) Если предельное значение V_R для длины ВПП больше, чем значение V_R для фактической взлетной массы, использовать для взлета повышенную V_R (до 20 узл. выше V_R для фактической взлетной массы). Индексы воздушной скорости не следует переставлять на повышенные значения.
- 4) 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 2000 фут, остающихся до конца используемой поверхности ВПП (см. раздел 4.3.4, технические приемы восстановления нормального положения).

4.3.3.4.7 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

4.3.3.4.8 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).

4.3.3.4.9 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.

Резюме

Меры 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

4.3.3.5 Меры предосторожности при заходе на посадкуУстойчивый режим захода

4.3.3.5.1 Устойчивый режим захода следует установить не позднее достижения высоты 1000 фут AGL для повышения способности распознавания сдвига ветра.

Управление тягой

4.3.3.5.2 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

4.3.3.5.3 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

4.3.3.5.4 Выбор установки угла отклонения закрылков для посадки зависит от типа воздушного судна. Следует учитывать следующие положения закрылков:

<u>Тип воздушного судна</u>	<u>Посадочное положение закрылков</u>
B-727	30
B-737	30
B-747	от 25 до 30
B-757	30
B-767	30
DC-9	*
MD-80	28
DC-10	35
L-1011	33

* Для данной модели должен предусматриваться минимальный угол отклонения закрылков

Исследования случаев встречи со сдвигом ветра при всех располагаемых посадочных положениях закрылков показали, что рекомендованные выше положения закрылков обеспечивают наилучшие общие характеристики по восстановлению нормального положения для широкого диапазона условий сдвига ветра.

Повышенная воздушная скорость

4.3.3.5.5 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.

4.3.3.5.6 Если позволяет располагаемая длина ВПП, воздушная скорость может быть увеличена максимум на 20 узл. 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.

4.3.3.5.7 В силу влияния многих переменных величин не представляется практически возможным точно указать результат влияния превышения нормальной воздушной скорости на 20 узл. 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 потребоваться 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.

4.3.3.5.8 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 20 узл. 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 20 узл. 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

4.3.3.5.9 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.

Резюме

Меры предосторожности при заходе на посадку

- Установить режим захода не ниже высоты 1000 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

4.3.3.6 Соблюдать установленную стандартную технику пилотирования

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

4.3.3.6.2 Необходимость заострить внимание на SOT 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.

4.3.3.6.3 При применении нижеизложенной SOT при полетах вблизи земли особое внимание обращается на траекторию полета и положение по тангажу. Результатом соблюдения SOT 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

4.3.3.6.4 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.

4.3.3.6.5 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.

4.3.3.6.6 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.

4.3.3.6.7 При взлете, проходящем на относительно малой высоте (ниже 1000 фут AGL), SOT 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.

4.3.3.6.8 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 1000 фут AGL.

4.3.3.6.9 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.

4.3.3.6.10 Экипажам следует быть готовыми к немедленному выполнению рекомендуемых действий по восстановлению нормального положения, если появляются отклонения от заданных условий, превышающие значения:

Взлет/заход на посадку

- 1) + 15 узл. воздушной скорости по прибору
- 2) + 500 фут/мин вертикальной скорости
- 3) + 5⁰ угла тангажа

Заход на посадку

- 1) отклонение от глиссады на + I деление
- 2) необычное положение рычага управления двигателем в течение значительного периода времени.

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

4.3.3.6.II 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: I200 - воздушная скорость: II5, уменьшается - глиссада: на одно деление ниже".

Резюме стандартной техники пилотированияВзлет

- знать значения нормального положения по тангажу, скороподъемности, нарастания воздушной скорости
- знать/использовать угол тангажа при начальном наборе высоты со всеми работающими двигателями
- выпойнять 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

Заход на посадку

- 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.

4.3.4 Технические приемы выхода из условий сдвига ветра и восстановления нормального положения

4.3.4.1 Общие положения

4.3.4.1.1 Главная цель применения технических приемов выхода из условий сдвига ветра и восстановления нормального положения - удержать 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.

4.3.4.1.2 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.

4.3.4.1.3 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 = $17,5^{\circ}$
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.

4.3.4.1.4 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.

4.3.4.1.5 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.

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

4.3.4.2.1 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 1000 фут AGL на этапе взлета или захода на посадку. Ниже еще раз приводятся ориентировочные данные о неприемлемости ухудшения траектории полета:

Взлет/заход на посадку:

- 1) + 15 узл. воздушной скорости по прибору
- 2) + 500 фут/мин вертикальной скорости
- 3) + 5° угла тангажа

Заход на посадку:

- 1) отклонение от глиссады на + I деление
- 2) необычное положение рычага управления двигателем в течение значительного периода времени.

4.3.4.2.2 Следует снова подчеркнуть, что эти данные следует рассматривать как ориентировочные, поскольку точные критерии установить невозможно. В каждом отдельном случае пилот, управляющий воздушным судном, 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.

4.3.4.2.3 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

4.3.4.2.4 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

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

- 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.
- Следует всегда относиться с доверием к сигнализатору о приближении к срыву. 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° .
- Если для прекращения тряски потребовалось ограничить угол тангажа величиной менее 15° , следует начать увеличивать угол тангажа до 15° сразу после прекращения тряски.

- 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.
- Во избежание чрезмерного превышения или недобора желаемого положения по тангажу, управлять по тангажу надлежит плавными равномерными движениями (с приращениями приблизительно 2 градуса).
- 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.

Конфигурация

4.3.4.2.6 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:

- 1) Случайная уборка закрылков (обычная ошибка с направлением движения) оказывает значительное отрицательное воздействие на летные характеристики.
- 2) 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 предупреждающего сигнала сирены, отвлекающего экипаж.

Дополнительные соображения

4.3.4.2.7 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.

4.3.4.2.8 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.

4.3.4.2.9 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.

4.3.4.2.10 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.

4.3.4.2.11 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.

4.3.4.2.12 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.

4.3.4.2.13 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!

РезюмеТехнические приемы выхода из условий сдвига ветра
после отрыва/при заходе на посадку

- Тяга
 - использовать необходимую величину тяги
- Тангаж
 - установить угол тангажа 15°
 - увеличить угол тангажа до более 15° , если это необходимо для обеспечения приемлемой траектории полета
 - всегда относиться с доверием к автомату тряски ручки управления
- Конфигурация
 - сохранять имеющуюся конфигурацию

4.3.4.3 Встреча со сдвигом ветра на ВПП при взлете

4.3.4.3.1 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.

4.3.4.3.2 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 V_1

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

После достижения V_1

4.3.4.3.4 Если достигнута V_1 , взлет должен быть продолжен.

Тяга

4.3.4.3.5 Следует энергично использовать требующуюся величину тяги для обеспечения соответствующих летных характеристик воздушного судна. Следует избегать чрезмерного

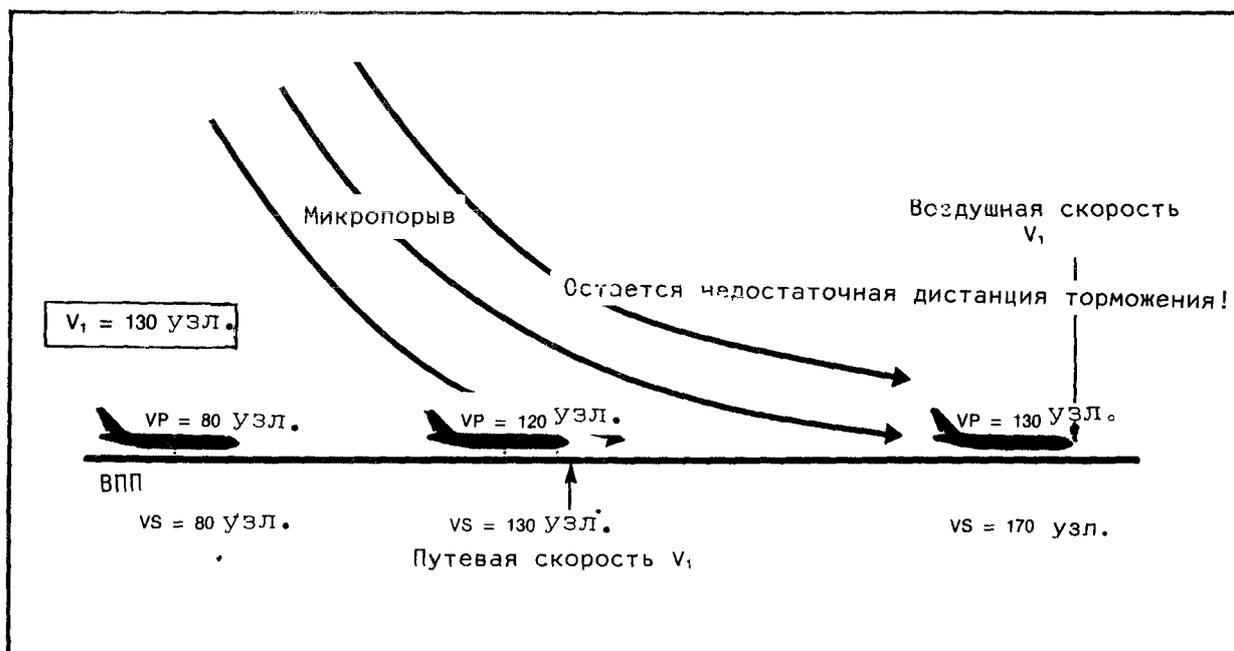


Рис. 4-14. Влияние сдвига ветра на момент принятия решения о выполнении/не выполнении взлета. Скорость принятия решения может быть не достигнута в точке, откуда оставшейся длины ВПП может не хватить для прекращения взлета (из Учебного пособия ФАУ по сдвигу ветра, 1987)

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

4.3.4.3.6 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 2000 футов, 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 узлов (кроме самолета "В-727", который не способен оторваться, не достигнув V_R).

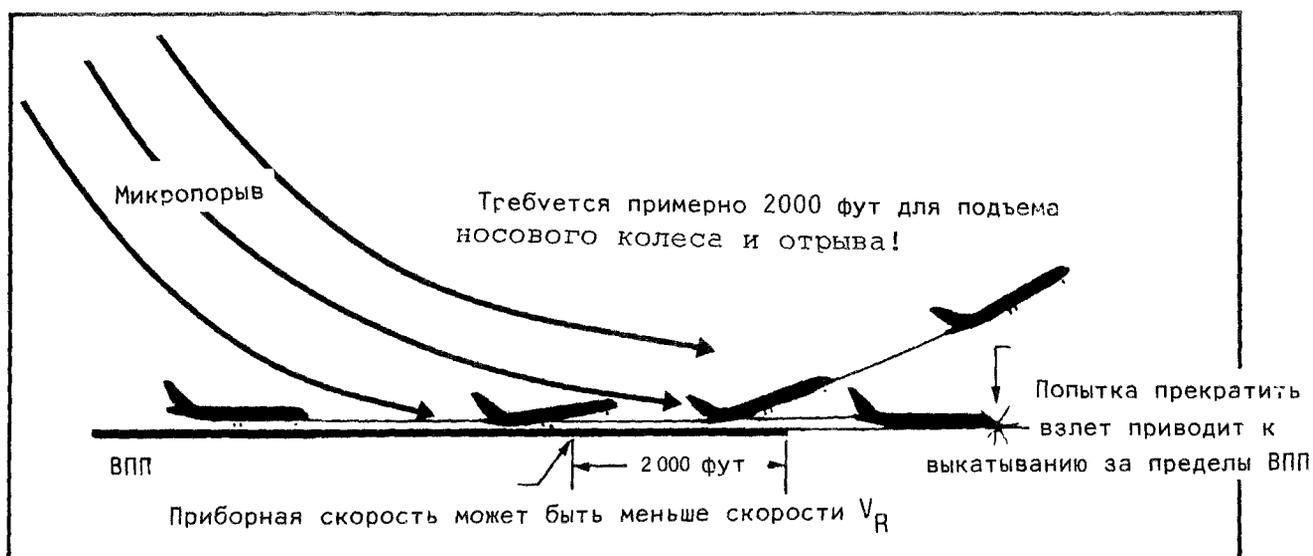


Рис. 4-15. Влияние сдвига ветра на решение о подъеме носового колеса. Воздействие сдвига ветра может заставить начать подъем носового колеса на скоростях ниже V_R . Подъем носового колеса следует начинать не позднее момента, когда до конца ВПП в направлении вылета остается 2000 футов (из Учебного пособия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

4.3.4.3.7 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.

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.

4.3.4.3.8 Оставшуюся часть ВПП при взлете можно определить по соответствующим маркировке и огням светосигнального оборудования. Хотя рассматриваемая маркировка обычно предназначается 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 светосильное 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 3000 фут (т.е. 1000 фут до точки начала подъема носового колеса). По мере продолжения взлета точка, от которой до конца ВПП остается 2000 футов, обозначена первой парой из встречающихся дальше двойных "шпал". Следует отметить, что все маркировочные знаки в виде "шпал" расположены с интервалом 500 фут, начиная от конечного порога в направлении вылета.

4.3.4.3.9 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 2000 футах 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 3000 фут (1000 фут до точки, где должен начинаться подъем носового колеса). От точки, от которой до конца ВПП остается 3000 фут, до точки, от которой остается 1000 фут, установлены осевые огни чередующегося белого и красного цвета. На последних 1000 футах все осевые огни ВПП излучают красный свет. Горизонт красных огней (перпендикулярный оси ВПП) обозначает конец используемой поверхности ВПП.

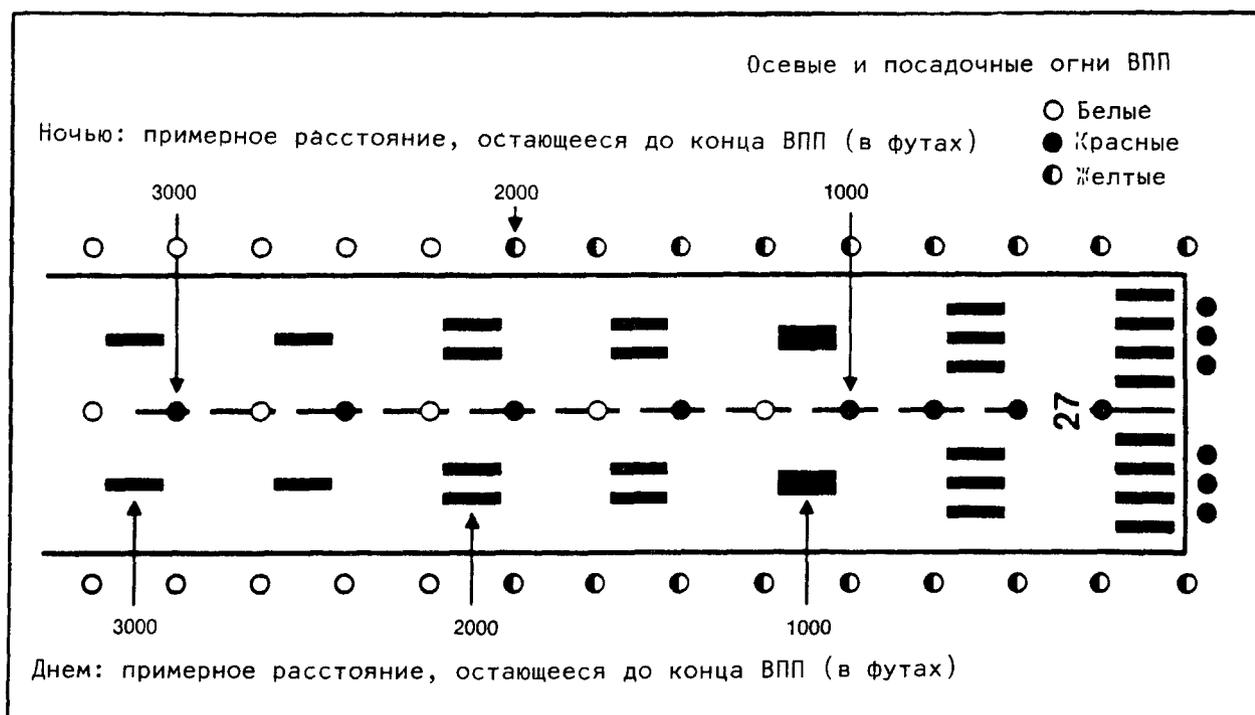


Рис. 4-16. Маркировка и огни ВПП, оборудованной для точного захода на посадку согласно стандартам ИКАО/ФАУ (из Учебного пособия ФАУ по сдвигу ветра, 1987)

4.3.4.3.IO 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 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 2000 фут.

4.3.4.3.II 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 500 фут (150 м), начиная от порога ВПП. Приблизительно в 1000 фут (300 м) 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 2000 футов (600 м) длины ВПП.

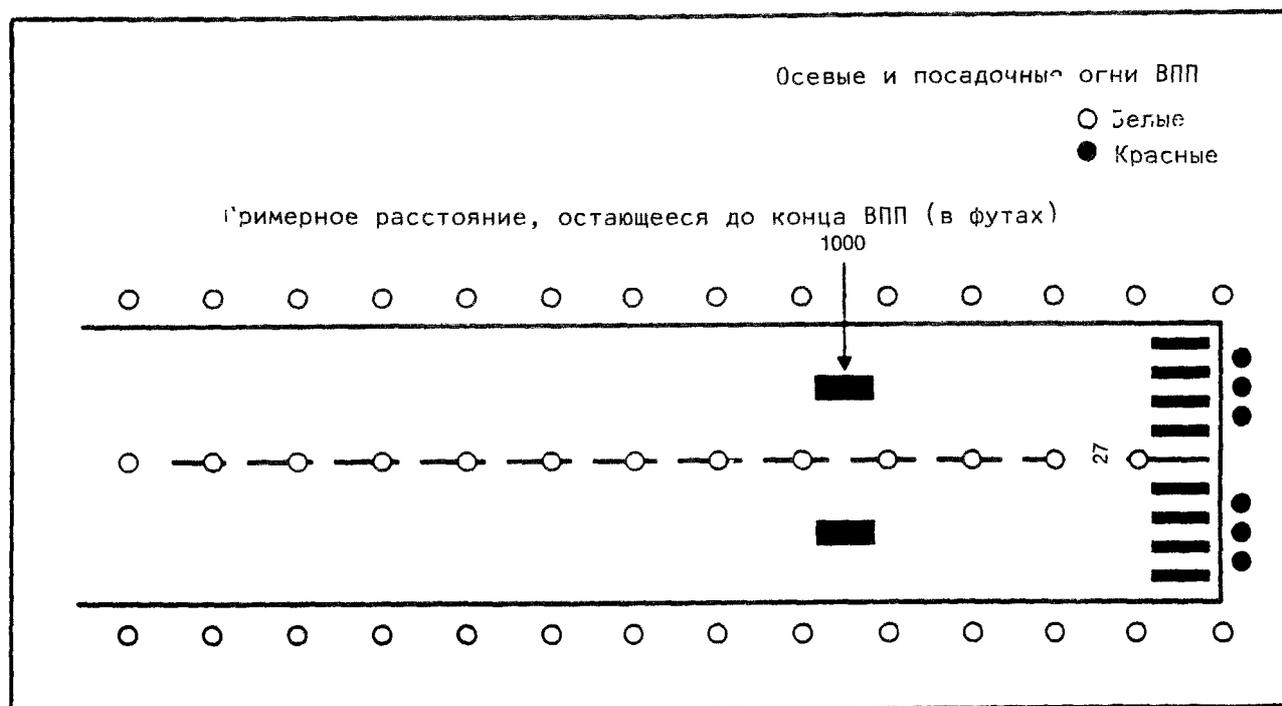


Рис. 4-17. Маркировка и огни ВПП, не оборудованные для точного захода, согласно стандартам ФАУ
(из Учебного пособия ФАУ по сдвигу ветра, 1987)

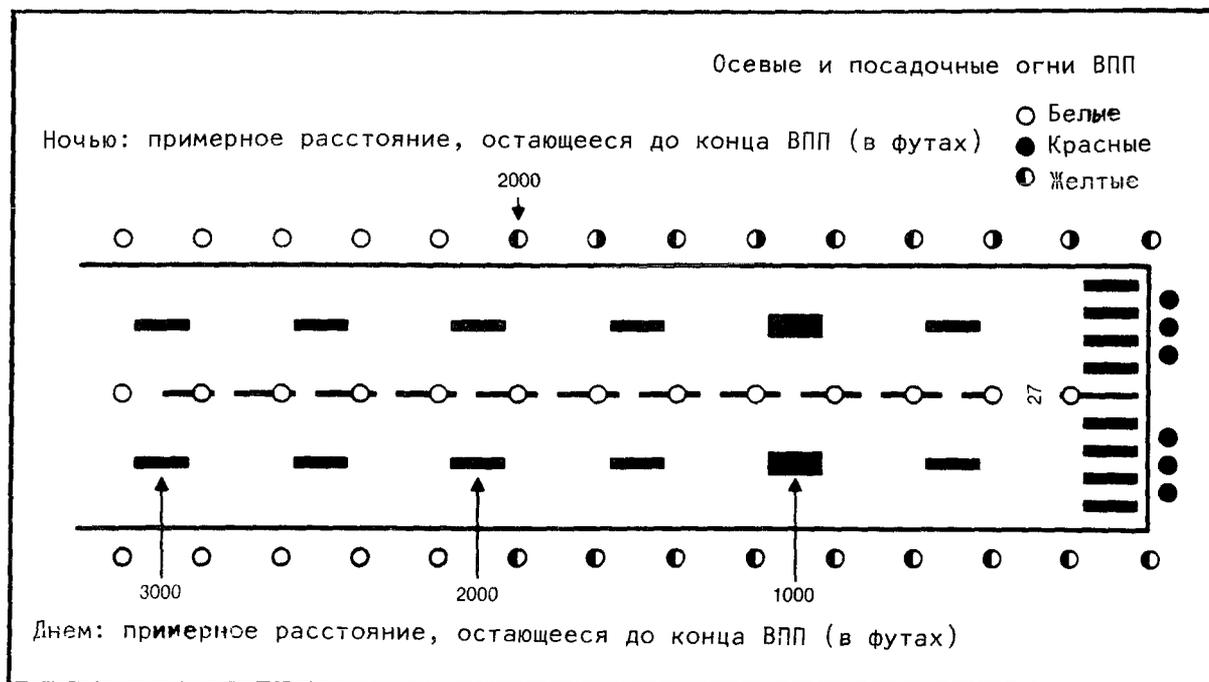


Рис. 4-18. Маркировка и огни ВПП, не оборудованной для точного захода, согласно стандартам ИКАО (из Учебного пособия ФАУ по сдвигу ветра, 1987)

4.3.4.4 Не рекомендуемые технические приемы выхода из условий сдвига ветра

4.3.4.4.1 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:

- Попытка сохранить заданную воздушную скорость не позволяет полностью использовать максимальную скороподъемность воздушного судна.
- При попытках установления угла тангажа, при котором сразу возникает тряска ручки управления, не полностью используется располагаемая энергия воздушного судна, результатом чего является ухудшение траектории полета и повышение возможности сваливания.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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 обладающему 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.

Глава 5

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

5.1 НАБЛЮДЕНИЕ СДВИГА ВЕТРА – С ЗЕМЛИ И В ПОЛЕТЕ

5.1.1 Общие положения

5.1.1.1 В перечне эксплуатационных требований (см. добавление А) указывается, что пилоты должны быть обеспечены информацией о сдвиге ветра на малых высотах. Источником этой информации могут быть результаты наблюдения (с земли или в воздухе) или прогнозирования. Как упоминалось в предисловии, оперативное обнаружение и наблюдение сдвига ветра на малых высотах в реальном масштабе времени продолжает оставаться среди труднейших проблем, стоящих перед авиационной метеорологией. Ввиду того, что для наблюдения или обнаружения и измерения сдвига ветра, представляющего опасность для полетов воздушных судов, необходимо следить за изменениями всех трех составляющих ветра по траекториям начального набора высоты и захода на посадку, становятся понятными трудности, с которыми связана разработка соответствующего оборудования дистанционного обнаружения, предназначенного для этой цели.

5.1.1.2 Положение, однако, начинает улучшаться, и разработка оборудования дистанционного обнаружения как бортового (доплеровский ЛИДАР), так и наземного (доплеровские РЛС), достигла такой стадии, что это оборудование может быть использовано для исследования проблем сдвига ветра. Что касается наземного оборудования, то в настоящее время методология его применения еще недостаточно отработана, а само оборудование является пока слишком дорогостоящим, чтобы его можно было применить для общего пользования на аэродромах. Между тем приходится прибегать к разнообразным способам наблюдения, большей частью косвенным, с целью обнаружения и, где это возможно, измерения интенсивности сдвига ветра.

5.1.2 Наземное наблюдение

5.1.2.1 Визуальное наблюдение сдвига ветра

5.1.2.1.1 Разумеется, сдвиг ветра сам по себе увидеть невозможно, но очень часто могут быть видны результаты его воздействия. Уже упоминалось о нескольких способах определения признаков присутствия сдвига ветра, основанных на использовании информации о прочих метеорологических явлениях. В перечень признаков присутствия можно включить следующие:

- движение прилегающих слоев облаков в разных направлениях
- сдвиг шлейфов дыма и их движение в разных направлениях
- шквалистое облако впереди надвигающейся линии шквалов
- сильный порывистый приземный ветер, воздействующий на деревья, флаги и т.п.

- реакция ветровых конусов вокруг аэродрома на ветер с одновременным указанием его различных направлений
- пыль*, поднимающаяся (особенно кольцеобразно) в результате действия нисходящих потоков под конвективным облаком
- пыль, поднимаемая фронтом порывов впереди линии шквалов
- "вирга" (свисающие столбы испаряющегося в воздухе дождя), особенно в сочетании с конвективным облаком
- чечевицеобразное облако, указывающее на наличие стоячих волн и т.п.
- воронкообразные облака
- водяные смерчи
- торнадо

Не все из этих проявлений сдвига ветра обязательно должны иметь какое-либо значение для воздушных судов при посадке или взлете; оценку необходимо производить по отдельным случаям в свете 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.

5.1.2.2 Наблюдение сдвига ветра с использованием обычных метеорологических приборов

5.1.2.2.1 Анемометры. Об использовании анемометров для наблюдения и измерения сдвига ветра в горизонтальной плоскости (например, вдоль ВПП) уже говорилось в главе 2. На многих аэродромах необходима установка нескольких анемометров, чтобы обеспечить получение информации о приземном ветре, репрезентативной в отношении таких критически важных участков ВПП, как зона взлета и зона приземления. Такая установка нескольких анемометров обеспечивает прямой источник информации о горизонтальном сдвиге ветра. Эта идея была положена в основу разработки специальной системы предупреждения о сдвиге ветра (система оповещения о сдвиге ветра на малых высотах (LLWSAS)), подробные данные о которой приводятся в п. 5.1.2.3.1. 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 мачтах температурными датчиками для обнаружения и измерения интенсивности инверсии на малых высотах составляют основу систем предупреждения о сдвиге ветра (см. п. 5.3.5.1). В Гонконге [47] информация для предупреждения о сдвиге ветра обеспечивается анемометрами, установленными на возвышенностях вблизи траектории захода на посадку.

* 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.

5.1.2.2.2 Аэростатное зондирование. Другим очевидным источником информации о сдвиге ветра является подъем радиозондов и шаров пилотов. Следует, однако, отметить, что, 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. 3.1.2.3 в отношении струйных течений на малых высотах). Чаще всего данные, полученные посредством аэростатного зондирования, будучи чрезвычайно полезными в выявлении профильного (вертикального) сдвига ветра, вряд ли смогут содействовать обнаружению сдвига ветра, связанного с конвективной облачностью (фронты порывов, нисходящие порывы, микропорывы и т.п.). Но несмотря на ограниченность для непосредственного наблюдения сдвига ветра, данные зондирования в значительной степени содействуют прогнозированию условий, благоприятных для возникновения сдвига ветра (см. раздел 5.2).

5.1.2.2.3 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, но также и 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 просто 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 эти сигналы 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", так как 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 радиолокационный сигнал проходит выше весьма пологого фронта порывов и, следовательно, не может его обнаружить. Если же фронт прослеживается радиолокатором, метеорологу будет очень легко предсказать, каким образом и когда фронт порывов будет воздействовать на соответствующий аэродром (см. п. 5.2.5.1.2). Имеется множество технических приемов обработки радиолокационных данных, при помощи которых метеоролог может оценить по отраженным сигналам интенсивность грозы и которые 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*). 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. 5.2.5.1.2.3. Радиолокационное сканирование может осуществляться в горизонтальной плоскости (индикатор кругового обзора (PPI) или в вертикальной плоскости (индикатор дальности и высоты (RHI)).

* dBZ означает относительную мощность в децибелах.

5.1.2.2.4 Метеорологические 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 (см. п. 3.5.2.3), особенно в случае образования фронтов порывов из линий шквалов. Особенно ярким 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 [27]. Данный снимок ставит перед нами определенного рода 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.

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

5.1.2.3.1 Система оповещения о сдвиге ветра на малых высотах (LLWSAS)

5.1.2.3.1.1 Система LLWSAS [3] 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 десять секунд. 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.

5.1.2.3.1.2 Дисплеи находятся в помещении органов управления воздушным движением (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 узлов, 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.

5.1.2.3.1.3 Система LLWSAS была разработана и внедрена после ряда авиационных происшествий, имевших место в середине 70-х годов, и в настоящее время функционирует на более чем 60 аэродромах США, а в перспективе этой системой будут оборудованы свыше 100 аэродромов. Вначале она предназначалась для обнаружения фронтов порывов при пересечении ими периметра аэродрома, и в этом отношении система работает хорошо. Однако в процессе дальнейших исследований сдвига ветра на малых высотах, связанного с конвективными облаками, становилось все более очевидным, что фронты порывов представляют лишь часть проблемы: главными виновниками, по-видимому, являются скорее предвестники фронта порывов, образующиеся над поверхностью земли, т.е. нисходящие порывы и микропорывы, нежели сам фронт. В этом отношении система LLWSAS 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 существующей разрешающей способности системы в пространстве и времени микропорывы могут иметь место между двумя датчиками периметра, не затрагивая ни один из них.

5.1.2.3.1.4 И все же, несмотря на эти ограничения, в некоторых случаях система LLWSAS обнаруживает сдвиг ветра и во всяком случае является, по-видимому, единственной жизнеспособной системой, основанной на использовании имеющегося на сегодняшний день

оборудования. Чтобы усовершенствовать эту систему, требуется увеличить плотность размещения датчиков и повысить частоту ответа. Первая система LLWSAS нового поколения будет установлена и испытана в международном аэропорту Новый Орлеан. Если испытания пройдут успешно, возможности систем первого поколения будут постепенно расширяться.

5.1.2.3.1.5 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 три минуты раньше датчиков приземного ветра. Комбинированные датчики приземного ветра атмосферного давления испытаны с обнадеживающими результатами и могут в итоге использоваться с целью расширения возможностей системы LLWSAS. Аналогичным образом, предстоит провести эксперименты, включающие слежение за разностью векторов в показаниях между датчиками периметра, а также между ними и датчиком в центре летного поля.

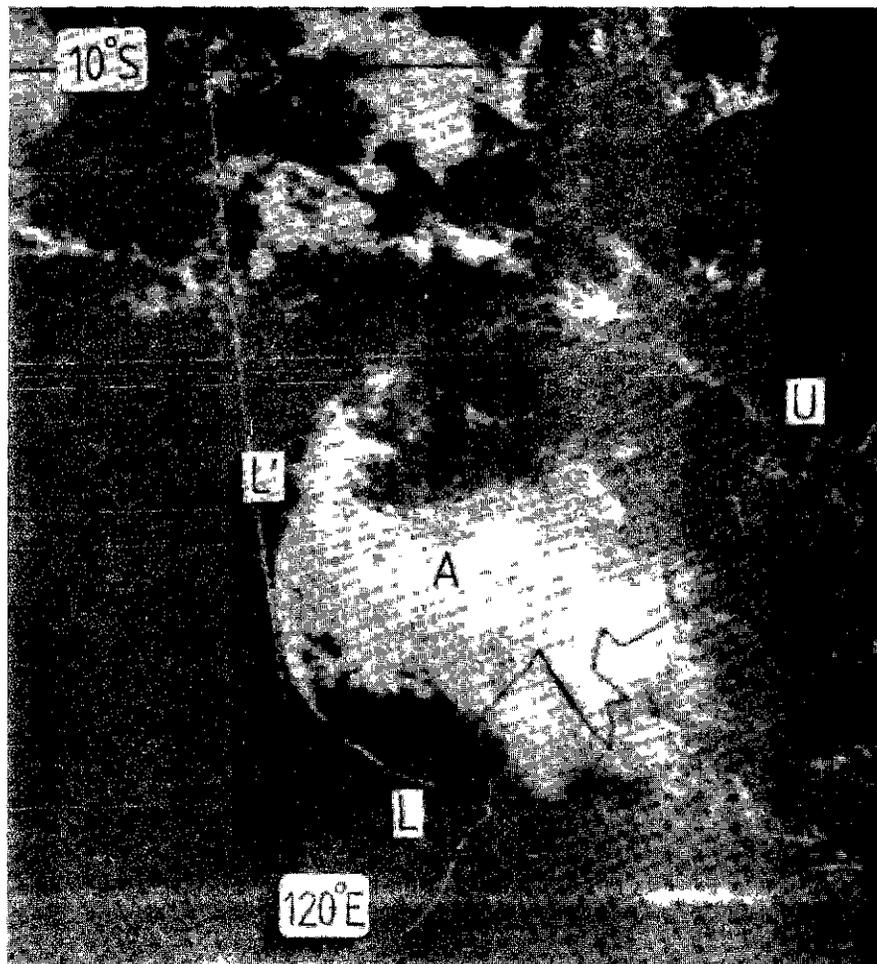


Рис. 5-1. Фотография дугового облака, сделанная с метеорологического спутника (Кингсуэлл, 1984)

5.1.2.3.2 Система звукометрического обнаружения и измерения дальности (СОДАР)

5.1.2.3.2.1 Система СОДАР аналогична радиолокационной, но в ней используются звуковые волны (~1500 Гц) для обнаружения температурных инверсий на малых высотах. Применение доплеровской методики обеспечивает возможность использования системы при измерениях скорости и направления 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 в связи с тем, что 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 минут, что представляет слишком продолжительный период для своевременного предупреждения о конвективном сдвиге ветра. Ожидается, что последние изыскания позволят сократить это время до менее пяти минут, а использование трехосной системы СОДАР позволило измерить вертикальную составляющую ветра.

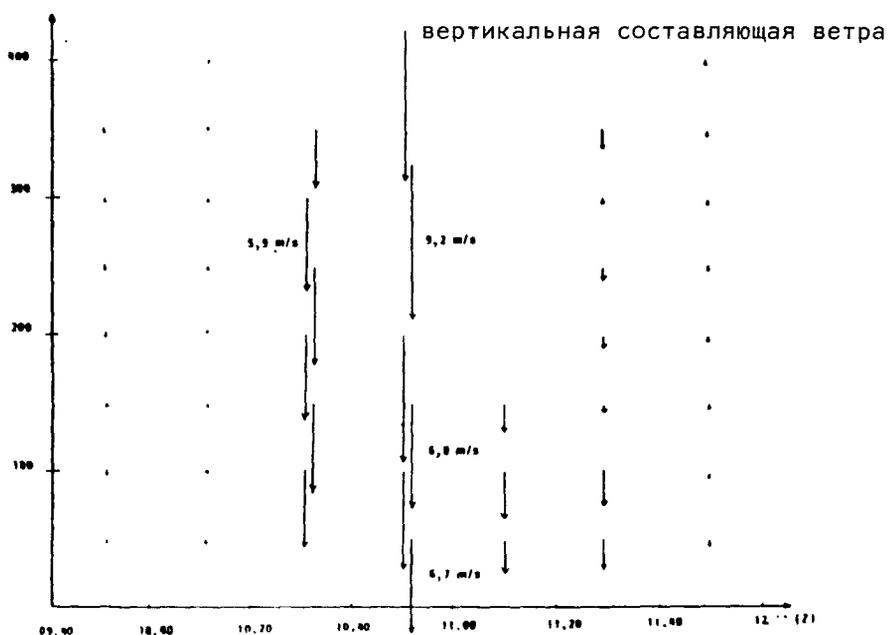
5.1.2.3.2.2 Существующее оборудование СОДАР позволяет зондировать атмосферу только непосредственно над точкой наблюдения, хотя в настоящее время ведутся дальнейшие разработки для обеспечения возможности направлять звуковой луч СОДАР под определенным углом, и в случае успеха это может положить начало работе по непрерывному слежению за всеми тремя составляющими профиля ветра на аэродромах вдоль траекторий начального набора высоты и захода на посадку [5]. 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 [6]. Система СОДАР эксплуатируется на аэродромах в ряде районов мира, включая Канаду, Данию, Францию, Гонконг и Швецию. Турессон и Дальквист сообщили об использовании более чем одной установки СОДАР для наблюдения и измерения нисходящего порыва, имевшего место в Копенгагенском аэропорту, и при этом время интеграции данных составило 20 минут; сдвиг ветра, который произошел при этом, показан на рис. 5-2 [4].

5.1.2.3.3 Доплеровская РЛС

5.1.2.3.3.1 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. Это явление, известное под названием "доплеровского смещения", позволяет, тем не менее, устранять с экрана РЛС УВД мешающие неподвижные цели (такие постоянные отраженные сигналы, 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 годы разработка таких микроволновых когерентных доплеровских РЛС не только быстро продвигалась вперед, но, что более важно, достигла такого уровня, что теперь стал возможен непосредственный анализ грозových облаков методом обнаружения и прослеживания облачных капель и дождя/града/снега, а также трассиров при "ясном небе" [7]. 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, причем все эти явления имеют непосредственное значение для авиации [8].



а) горизонтальная составляющая ветра 9 июня 1984 года в Копенгагенском аэропорту — измерения с помощью доплеровской системы СОДАР со временем интеграции 20 минут



б) профиль вертикальной составляющей ветра 9 июня 1984 года

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

5.1.2.3.3.2 Чтобы обнаружить представляющие интерес для метеорологии цели, обычно используется рабочая длина волны метеорадиолокаторов от 3 до 10 см (чаще всего применяются волны 3,2 см (диапазон X), 5,5 см (диапазон C) и 10 см (диапазон S)). Для доплеровской РЛС цель с радиальной скоростью V м/с создает смещение по частоте 62, 36 и 20 Гц при длине волны 3,2 см, 5,5 см и 10 см соответственно. В п. 5.1.2.2.3 упоминалось 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 проследиваться 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.

5.1.2.3.3.3 С точки зрения обнаружения и измерения сдвига ветра на аэродромах идеалом является непрерывное измерение трех составляющих ветра до высоты примерно 500 м (1600 футов) над уровнем земли по траекториям захода на посадку и начального набора высоты. Как упоминалось выше (см. п. 3.5.4.2), 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 приносит мало пользы для определения сдвига ветра в тех случаях, когда ветровое поле не является однородным, но было найдено, что многие такие явления, порождающие сдвиг ветра, как фронты порывов, микропорывы и торнадо, могут распознаваться по своей радиолокационной "подписи" (характеристике цели) на одиночной доплеровской РЛС (т.е. по формам градиента радиальной скорости). Этот метод в настоящее время не является полностью надежным, поскольку по ряду причин не все микропорывы и т.п. обеспечивают распознаваемые характеристики цели и, во всяком случае, сама техника распознавания требует значительного, не всем присущего мастерства и опыта. Кроме того, при наблюдении за нижними слоями атмосферы сигнал доплеровской РЛС все еще в значительной степени ухудшается из-за мешающих отражений от земли.

5.1.2.3.3.4 Теоретически, чтобы непосредственно измерить все три составляющие ветра, необходимы три разнесенные в пространстве доплеровские РЛС, одновременно производящие зондирование одного и того же объема атмосферы. На практике возможно использование двух доплеровских РЛС для непосредственного получения двух горизонтальных составляющих ветра (северной и восточной) и косвенного выведения вертикальной составляющей. В проекте совместных исследований погоды в аэропортах (JAWS) для проведения полного анализа в трех измерениях ветровой структуры микропорывов использовались три доплеровские РЛС (см. п. 3.5.4.2).

5.1.2.3.3.5 Маловероятно, что в ближайшем будущем какие-либо аэродромы, кроме наиболее подверженных сдвигам ветра, будут в состоянии финансировать установку и эксплуатацию двух специально выделенных доплеровских РЛС. Исходя из этого, представляется очевидным, что, помимо установки более одной доплеровской РЛС, которые сохраняют свое значение для научно-исследовательских проектов, значительные усилия будут направлены на отработку методики использования одиночных доплеровских РЛС, особенно в области автоматизации обработки и распознавания различных характеристик цели в виде различий в доплеровской скорости, связанных с явлениями сдвига ветра, которые представляют опасность для авиации, и устранение мешающих отражений от земли.

5.1.2.3.3.6 Значительный прогресс достигнут многими государствами в разработке наземных инфракрасных доплеровских систем, работающих в режиме незатухающих волн, ЛИДАР (LIDAR - Light Detection And Ranging - световое обнаружение и определение дальности), способных измерять ветер на высотах до 1 км. Благодаря узкому регулируемому лучу ЛИДАРа, процесс измерений менее подвержен воздействию мешающих отражений от земли, что позволяет получать данные в пределах нескольких метров от земной поверхности. В Федеративной Республике Германии была разработана подобная система, особенно пригодная 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 [97].

5.1.3 Наблюдение сдвига ветра с воздуха

5.1.3.1 Использование стандартных бортовых приборов

5.1.3.1.1 Вопрос об использовании стандартных бортовых приборов для наблюдения сдвига ветра довольно подробно обсуждался в предыдущей главе 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 указывающей 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 системе ИНС.

5.1.3.2 Бортовое оборудование предупреждения о сдвиге ветра

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

5.1.3.2.1.1 В одной из систем, которая в течение ряда лет поставляется на авиационный рынок, 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 потере встречного/приросте попутного ветра на 3 узла/сек или (при нисходящем потоке) при уменьшении угла атаки на $0,15$ радиана ($8,6^\circ$) или при любом сочетании этих двух ситуаций, обеспечивающем условие эквивалентного уровня сигнала (отрицательное ускорение $0,15 g$).

5.1.3.2.1.2 Другая система, поступившая на рынок в 1986 году, обеспечивает возможность обнаружения сдвига ветра и предупреждения о его присутствии в рамках функционирования системы оптимизации летных характеристик. Система разрабатывается в течение двух этапов, причем на первом этапе обеспечиваются компоненты обнаружения и предупреждения, а на втором этапе - указания пилоту (предполагается, что второй этап будет завершен в течение 1987 года). В системе используется информация от воздушных датчиков и специальных

измерителей ускорения, 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.

5.1.3.2.1.3 Хотя недостатком этих систем является то, что они предупреждают о сдвиге ветра лишь тогда, когда воздушное судно фактически входит в сдвиг, они способны обнаружить сдвиг ветра за несколько секунд до того, как пилот обычно распознает условия, которые при встрече со сдвигом ветра могут быть критическими. Последние доработки этих приборов не только обеспечивают средства предупреждения о сдвиге ветра, но и позволяют давать указания относительно пилотирования воздушного судна по тангажу, что является важным в условиях нисходящего порыва потому, что угол атаки уже не связан непосредственно с углом тангажа, и поэтому для достижения нужного угла атаки могут оказаться необходимыми предельные углы фюзеляжа (см. п. 4.2.3.2 и рис. 4-5). Сообщается также, что одна из изготовителей воздушных судов планирует внедрить в 1988 году систему обнаружения сдвига ветра, которая будет передавать данные на автомат тяги и автопилот. Ее можно будет также устанавливать на воздушных судах более старой конструкции, и в этом случае соответствующие коменды будут отображаться на командном пилотажном приборе.

5.1.3.2.2 Усовершенствованные вариометры

5.1.3.2.2.1 Две фирмы отдельно произвели доработку обычного вариометра (VSI), в котором для расчета быстроты изменения энергии воздушного судна используются данные о вертикальной и воздушной скорости, получаемые от вычислителя воздушных сигналов. Это значение отображается на VSI, в одном случае посредством второй стрелки, в другом - двумя точками (делениями), которые движутся по внешней окружности шкалы. В обоих случаях ускорение или торможение воздушного судна пропорционально зазору между обычной стрелкой VSI и индикатором быстроты изменения энергии (стрелка или точки), позволяя пилоту оценивать, какая тяга необходима в той или иной конкретной ситуации. Изменения горизонтальных составляющих ветра отмечаются по быстрому разделению двух стрелок, а изменения вертикальной составляющей (например, при нисходящих порывах) - по показанию обеими стрелками внезапного возрастания вертикальной скорости снижения (или набора высоты при восходящем потоке). В случае, если какая-либо из стрелок показывает вертикальную скорость снижения, превышающую установленную величину (например, 1000 фут/мин), пилот будет знать, что воздушное судно встречается со сдвигом ветра, и сможет предпринять соответствующие действия. Одна из систем также обладает возможностью цифрового отображения значения угла атаки.

5.1.3.2.2.2 Оба прибора показывают присутствие сдвига ветра только при встрече с ним воздушного судна, причем следует учитывать еще и обычное запаздывание прибора. Тем не менее, как и в отношении систем предупреждения о сдвиге ветра, работа которых основана на слежении за летными характеристиками воздушного судна, рассматриваемые приборы все же на несколько секунд опережают пилота, определяющего присутствие сдвига ветра обычным методом, а эти секунды могут оказаться критически важными. Другим преимуществом всех упомянутых выше систем является то, что они являются лишь доработкой прибора, уже имеющегося в кабине экипажа и включенного в обычную схему распределения внимания пилота (т.е. речь идет о вариометре или командном пилотажном приборе).

5.1.3.2.3 Доплеровский ЛИДАР

5.1.3.2.3.1 Королевский научно-исследовательский авиационный институт Соединенного Королевства (RAE) в Бедфорде и Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства США занимаются исследованиями в области использования доплеровского ЛИДАРа для измерения скорости и направления ветра в полете [10,11,12]. В основе доплеровского ЛИДАРа лежит точно такой же принцип, что и доплеровской РЛС (см. п.5.1.2.3.3), но в нем используется когерентное инфракрасное излучение, производимое заполненным CO₂ инфракрасным лазером. В системе RAE, называемой лазерной системой истинной воздушной скорости (LATAS), луч лазера фокусируется на удалении 500-600 м впереди воздушного судна и измеряет движение воздуха в данной точке относительно движущегося источника излучения. Таким образом система способна сообщать пилоту о вероятных изменениях воздушной скорости по причине сдвига ветра впереди воздушного судна с упреждением около четырех секунд. Фактически прибор измеряет движение аэрозольных частиц в воздухе относительно воздушного судна и вдоль траектории полета (встречный/попутный ветер), то есть при нынешней конструкции он не способен 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. В течение последних трех лет эта система действовала на борту исследовательского воздушного судна RAE HS125, которое принимало также участие в осуществлении проекта JAWS (см. 3.5.4.2). По имеющимся отзывам, эта система вынослива, надежна и обладает малым весом; она требует минимального технического обслуживания, регулирования и калибровки и может измерять "воздушную скорость" почти на 800 м впереди воздушного судна при ясном небе или в облаках. Ее рабочие характеристики намного лучше на высотах ниже 20 000 фут (6 км), где обычно имеется избыток аэрозольных частиц, и, хотя отражение сигнала на высотах, превышающих 20 000 фут ухудшается, измерения ветра проводились на высотах вплоть до практического потолка воздушного судна HS125 (43 000 фут (13 км)).

5.1.3.2.4 Бортовая доплеровская РЛС

5.1.3.2.4.1 Доплеровские РЛС испытывались в полете на предмет использования в качестве систем обнаружения сдвига ветра, но по причине сравнительно больших размеров и веса оборудования (РЛС и блоков обработки) испытания до последнего времени проводились только на больших транспортных самолетах, например, на "С-130 Геркулес" [13,14,15]. Вероятность того, что в ближайшем будущем удастся уменьшить размеры и вес оборудования при умеренных затратах, выглядит очень малой, хотя НАСА приступает к разработке малогабаритной, мало-мощной бортовой доплеровской РЛС, которая, вероятно, будет готова к эксплуатации через пять-десять лет. Доплеровская техника предлагается в качестве нестандартного дополнения к некоторым имеющимся на авиационном рынке бортовым метеорадиолокаторам. Она позволяет измерять и обрабатывать данные различных радиальных скоростей дождевых капель впереди воздушного судна и на основе этой информации определять и отображать области турбулентности.

5.1.3.2.5 Индикатор на лобовом стекле (HUD)

5.1.3.2.5.1 Индикаторы на лобовом стекле в течение многих лет являлись стандартным оборудованием истребителей и только с недавнего времени устанавливались на некоторых коммерческих воздушных судах. HUD представляет собой системы 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, но 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 ряде государств проводились 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 индикатор траектории полета 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 /167. Большинство пилотов, принимавших участие в испытаниях, отмечало, что HUD значительно облегчает применение специальных приемов пилотирования в моделируемых условиях сдвига ветра.

5.1.3.2.6 Усовершенствованные инерциальные навигационные системы (ИНС)

5.1.3.2.6.1 Одной крупной фирмой-изготовителем инерциальных навигационных систем разработана модификация стандартной ИНС, отображающая составляющие ветра на всем протяжении этапа захода на посадку и посадки. Модифицированная система вычисляет составляющую ветра, и, используя акселерометр, рассчитывает также вертикальную скорость снижения; при обнаружении сдвига ветра цифровое табло отображает мигающие восьмерки.

5.1.4 Комплексная программа ФАУ по сдвигу ветра (датчики)

5.1.4.1 В предисловии упоминалось о "Комплексной программе ФАУ по сдвигу ветра". Двумя составными частями программы являются "подпрограмма по наземным датчикам" и "подпрограмма по бортовым средствам обнаружения сдвига ветра и уклонения от встречи с ним". Первая охватывает разработку и внедрение усовершенствований существующей системы LLWSAS (см. п. 5.1.2.3.1), которая будет называться ALWAS (усовершенствованная LLWSAS), а также разработку и введение в эксплуатацию "Метеорадиолокатора следующего поколения (NEXRAD)" (см. п.6.2.1) и аэродромный доплеровской РЛС (TDR) (см. п.6.2.2). Составная часть программы, относящаяся к бортовым средствам, включает разработку бортовых датчиков сдвига ветра передней зоны обзора (см. пп. 5.1.3.2.3 и 5.1.3.2.4) и усовершенствование и интеграцию существующих датчиков (см. п.5.1.3.2.1.1).

5.2 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СДВИГА ВЕТРА

5.2.1 Общие положения

5.2.1.1 Отсутствие необходимого рабочего оборудования для наблюдения или обнаружения и измерения сдвига ветра, о которой говорилось в предыдущем разделе (см. 5.1.1.1), чрезвычайно затрудняет прогнозирование сдвига ветра. Говоря в общем плане, в настоящее время единственный реальный подход заключается в попытках предсказать метеорологические явления, которые, как известно, могут породить 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.

5.2.1.2 При такой весьма мрачной перспективе, по-видимому, улучшение положения может произойти только в результате целенаправленных усилий в области научных исследований, и, действительно, благодаря этим прилагавшимся за последние годы усилиям проблема начинает поддаваться решению. Особенно заметен прогресс 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 бортовой комплексной системы регистрации данных (AIDS), которая установлена на большинстве крупных транспортных реактивных самолетов (см. раздел 3.7). Эти усилия постепенно обеспечивают все более ясное понимание сдвига ветра, и, в частности, они позволили сосредоточить внимание на тех конкретных видах сдвига ветра, которые представляются для воздушных судов наиболее опасными.

5.2.1.3 Между тем на большинстве аэродромов при прогнозировании приходится применять различные эмпирические правила, которые разработаны на основе метеорологической теории и широких сведений о конкретном районе. Примеры таких правил, применявшихся Метеорологическим управлением Соединенного Королевства в процессе экспериментального прогнозирования сдвига ветра в 1977 году, а также существующего комплекса правил, разработанных на основе первых использовавшихся практически в 1985 году, приведены в добавлении F. Аналогичные правила, измененные применительно к различным условиям, используются в настоящее время Национальной метеорологической службой Соединенных Штатов Америки [17].

5.2.1.4 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 отношении прогноза 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, прежде чем углубляться в различные используемые в настоящее время методы прогнозирования сдвига ветра, следует остановиться на многих проблемах, связанных с классификацией сдвига ветра по его интенсивности.

5.2.2 Интенсивность сдвига ветра

5.2.2.1 В главе 2 рассматривались 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 узлах на 100 футов или в м/с на 30 м. На первый взгляд может показаться, что классификация интенсивности сдвига ветра по эмпирически выведенным значениям в узлах на 100 футов или м/с/30 м, сведенным в классы, является несложным делом. Такой подход использовался на пятой Аэронавигационной конференции (Монреаль, 1967 год), где рекомендовались промежуточные критерии интенсивности сдвига ветра, показанные в таблице 5-1. В этой первоначальной таблице интенсивность сдвига ветра была представлена четырьмя классами - от слабого до очень сильного, выраженными в узлах на 30 м; критерии качества, основанные на воздействии, которое каждый из классов сдвига ветра может оказывать на управление воздушным судном, были добавлены позднее.

Таблица 5-1. Промежуточные критерии интенсивности сдвига ветра, рекомендованные пятой Аэронавигационной конференцией (Монреаль, 1967 год)

Слабый	- от 0 до 4 узл. включительно на 30 м (100 фут)
Умеренный	- от 5 до 8 узл. включительно на 30 м (100 фут)
Сильный	- от 9 до 12 узл. включительно на 30 м (100 фут)
Очень сильный	- свыше 12 узл. на 30 м (100 фут)

5.2.2.2 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) оказывается, что сдвиг ветра одного и того же класса интенсивности (согласно классификации, предложенной в таблице 5-1) 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 и, следовательно, от времени подверженности его воздействию;
- c) информация об интенсивности сдвига ветра в единицах скорость/расстояние не является в прямом смысле полезной для пилота воздушного судна, летящего по глиссаде с углом наклона 3° , поскольку пилот мыслит такими категориями и 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, например, при микропорывах, при которых все три составляющие ветра меняются одновременно; и
- e) граничные значения классов интенсивности, относящиеся к сдвигу горизонтальных составляющих ветра и представленные в таблице 5-1 (т.е. исключая нисходящие потоки), очевидно, не подтверждаются анализом данных AIDS, произведенным в Королевском научно-исследовательском авиационном

институтом в Бедфорде 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-I как "очень сильный", но на самом деле, очевидно, не представляющего сколько-нибудь сложной проблемы для пилота при выполнении посадки [18].

5.2.2.3 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 ИКАО - 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 7.4.4 Приложения 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". Во-вторых, несмотря на ряд предложений по усовершенствованию промежуточных критериев, подробности которых рассматриваются ниже, наблюдается тенденция избегать этого вопроса вообще, 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 (эти последние предложения также рассматриваются ниже).

5.2.2.4 Одно из предложений по усовершенствованию критериев интенсивности сдвига ветра было сделано Вудфилдом и Вудсом в их работе по анализу в мировом масштабе данных о сдвиге ветра, полученных по результатам свыше 9000 посадок самолетов "Боинг-747" авиакомпании "Бритиш эруэйз" [18]. 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, 3 узл./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 $V_{исх}$ или около 25-30 узл. 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 100 узл., если быстрота изменения составляет лишь 0,1 узл., аналогичным образом, в другом крайнем случае при изменении скорости ветра всего на 5 узл. даже такая быстрота изменения, как 10 узл./с, не составляет проблемы.

5.2.2.5 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 будет преобладать при полной тяге, то величина изменения скорости ветра будет преобладать 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. Они предлагают следующую формулу фактора интенсивности сдвига ветра "I":

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

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 оказывается $\frac{\Delta V}{R^{1/3}}$ или "нормализованный" сдвиг ветра. Предлагаемая форма границ интенсивности показана на рис. 5-3 [187]. Исследователи рекомендуют испытать такие критерии интенсивности на соответствующих авиационных имитаторах.

5.2.2.6 Иной подход к проблеме определения интенсивности сдвига ветра предложен Сволинским [48]. Он обращает внимание на то, что в предложенной Вудфилдом и Вудсом коэффициенте интенсивности [187] (см. п.5.2.2.5 выше) не учитываются изменения вертикальной составляющей ветра. Предложение Сволинского основано на учете энергии (потенциальной и кинетической) при заходе на посадку (посадка 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 $H_{исх.}$).

5.2.2.7 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 придерживаются Соединенные Штаты Америки, где издан Консультативный циркуляр AC 120-41, датированный июлем 1983 года, критерии допуска к эксплуатации бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра и указания о действиях в полете [197]. 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 данных восстановления полученных в результате авиационных происшествий, а также метеорологических данных и данных из других источников, в условиях которых может испытываться на имитаторе бортовая система обнаружения. Для целей таких испытаний очень сильный сдвиг ветра определяется как:

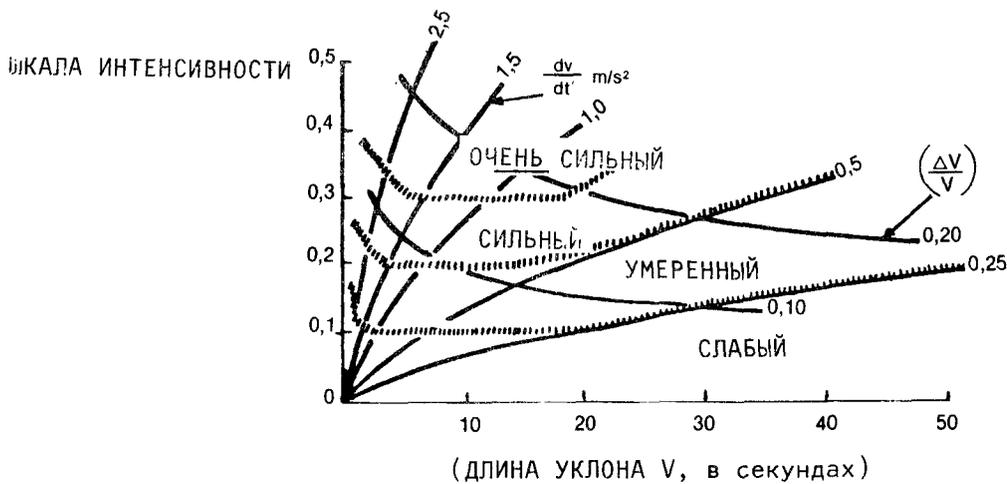


Рис. 5-3. Предлагаемая форма граничных значений интенсивности (Вудфилд и Вудс, 1983)

"Очень сильный. Сдвиг ветра, который по интенсивности и длительности превышает летно-технические характеристики воздушного судна конкретного типа и вызывает непреднамеренную потерю управления при соприкосновении с землей, если пилот не получал информацию от бортовой системы предупреждения о сдвиге ветра и указания о действиях в полете, которая соответствует критериям, содержащимся в пункте 4 б)". Подчеркнуто составителями циркуляра

Пункт 4 б) Консультативного циркуляра гласит:

"Бортовая система, обеспечивающая предупреждение о сдвиге ветра и указания 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 имеющихся 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 имеющихся летно-технических характеристик при сохранившемся избытке энергии без непреднамеренной потери управления при соприкосновении с землей."

Вышеизложенное подразумевает, 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.

5.2.2.8 Согласно консультативному циркуляру применение бортовых систем обнаружения сдвига ветра еще больше повысит уровень безопасности по сравнению с тем уровнем, который обеспечивается прогнозированием и наземным оборудованием обнаружения, путем предоставления пилоту возможности раннего, надежного распознавания явлений сдвига ветра и позволяя ему при необходимости использовать все остающиеся в его распоряжении летно-технические характеристики воздушного судна. Поля ветра, предназначенные для использования в качестве испытательных данных, будут постоянно обновляться Федеральным авиационным управлением по мере поступления свежей информации (например, данные JAWS и т.д.). Комитет США по сдвигу ветра на малых высотах предложил, чтобы будущие определения поля ветра в Консультативном циркуляре включали "профили ветра, которые могут превышать летно-технические характеристики конкретного самолета" [20].

5.2.3 Неустойчивый и устойчивый сдвиг ветра

5.2.3.1 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 5-2). Устойчивый сдвиг ветра, который может быть связан, например, с заметными температурными инверсиями на малых высотах, горными волнами или обтеканием потоком воздуха препятствий и т.п., имеет тенденцию затрагивать определенный район и сохраняется в течение относительно длительных периодов времени (измеряемых часами) и в настоящее время 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.

Таблица 5-2. Классификация сдвига ветра для целей прогнозирования

Тип сдвига ветра	
<u>Неустойчивый</u>	<u>Устойчивый</u>
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

5.2.4 Прогнозирование устойчивого сдвига ветра

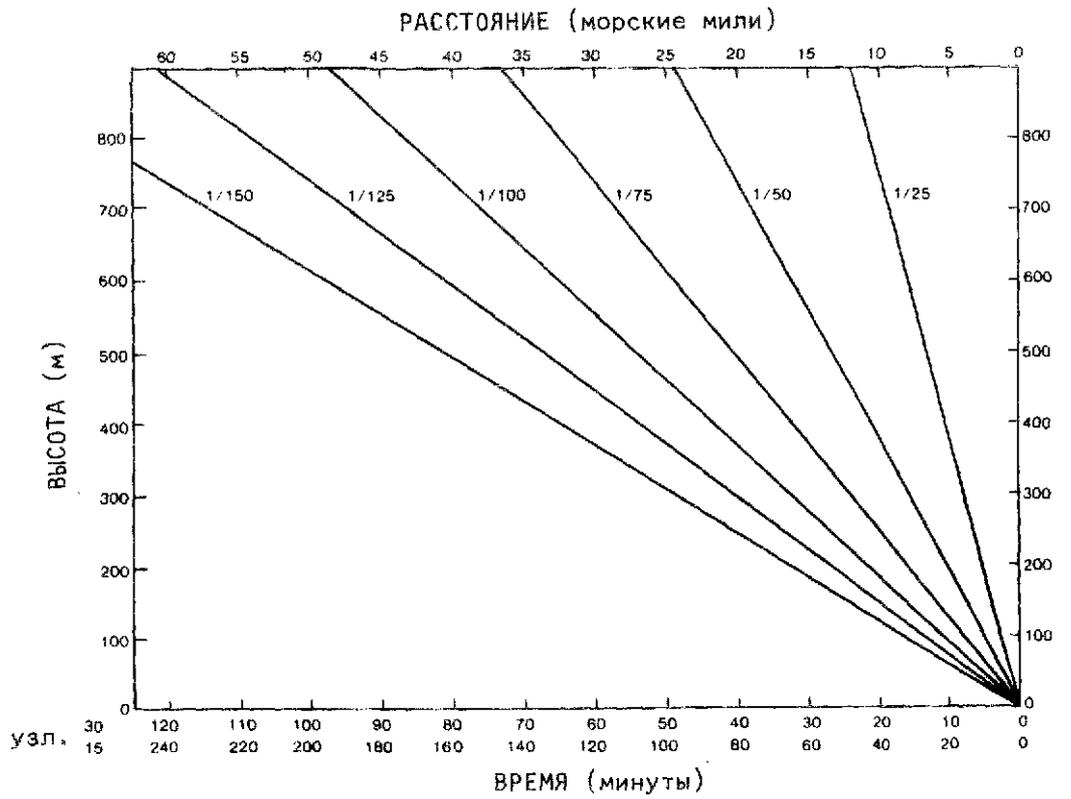
5.2.4.1 Прогнозирование сдвига ветра, связанного с фронтами воздушной массы

5.2.4.1.1 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.

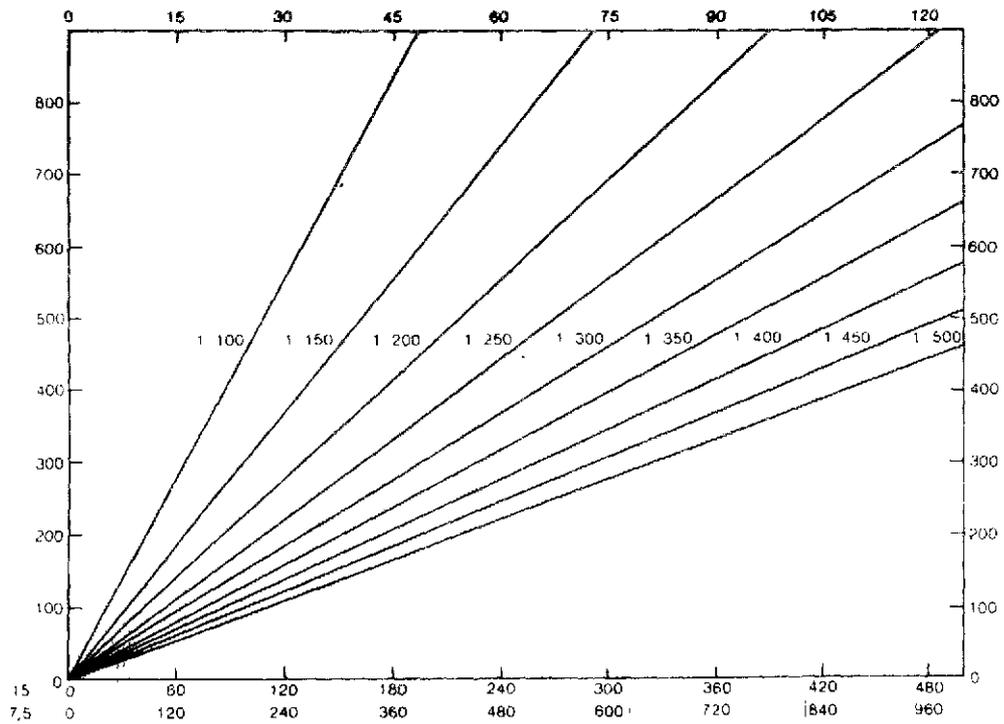
5.2.4.1.2 Приемы и методы определения местоположения, развития и перемещения фронтов воздушной массы достаточно хорошо известны, чтобы снова о них говорить. Эти приемы и методы издавна основывались на детальном синоптическом анализе наблюдений у поверхности земли и в верхних слоях атмосферы. За последние примерно 20 лет синоптический анализ значительно расширился за счет использования информации, поступающей от спутников на полярной орбите, и, особенно за последние пять лет, - от геостационарных метеорологических спутников. Первые предоставляют информацию, относящуюся к конкретному району, каждые шесть часов, тогда как последние обеспечивают квазинепрерывное наблюдение. Геостационарные спутники (например, GOES), помимо изображения облачности каждые 30 минут, 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).

5.2.4.1.3 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. 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 на некотором удалении впереди приземного теплого фронта или позади холодного. Может потребоваться и более подробный анализ (особенно изоэнтропийный*) с использованием поперечного разреза фронтальной поверхности. В прошлом изоэнтропийный анализ был чрезвычайно трудоемким процессом, однако с недавних пор стало реальностью составление таких анализов в реальном масштабе времени при помощи мини-ЭВМ. 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

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



а) холодный фронт



б) теплый фронт

Рис. 5-4. Высота теплового и холодного фронтов в соотношении с расстоянием/временем до аэропорта при различных наклонах (Баднер, 1979)

номограмм, показан на рис. 5-4 [17]. 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.

5.2.4.1.4 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, конечно, пропорционален интенсивности фронта, которая в свою очередь пропорциональна температурному градиенту в поперечной плоскости фронта. В этом отношении предложен и успешно используется критический температурный градиент 5°C на каждые 50 морских миль [17]. 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 20 узл. на 50 мор. миль, и в помощь прогнозисту обычно предоставляются простые номограммы для вычисления разности векторов непосредственно по двум значениям ветра с использованием уравнения, рассмотренного на рис. 2-2 II b), т.е. $a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos A}$. Аналогичным образом, существенный сдвиг ветра обычно присутствует во фронтах, движущихся со скоростью 30 или более узл. Необходимо, разумеется, рассмотреть два аспекта применительно к критериям, основывающимся на скорости движения фронтов. Хотя фронтам, движущимся со скоростью 30 или более узл. (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.

5.2.4.1.5 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 векторов [17]. 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.

5.2.4.1.6 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 [217].

5.2.4.2 Прогноз сдвига ветра, связанного с фронтами морского бриза

5.2.4.2.1 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 предыдущем разделе, 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 часа. Формирование морского бриза ни в коем случае не происходит автоматически и зависит в большой степени от общей синоптической ситуации, а также 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 толщины будет обладать 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.

5.2.4.2.2 Особенно хороший пример фактического фронта морского бриза, наблюдавшегося неподалеку от Бостона, приведен на рис. 5-5 [17]. 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 30 узл. у земной поверхности), а 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 40 узл. На рис. 5-5 рядом с кружком каждой станции также проставлены значения температуры у земной поверхности ($^{\circ}\text{F}$). 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 иметь в виду, что сильные фронты морского бриза при благоприятных условиях способны проникать почти на 50 км в глубь суши.

5.2.4.3 Прогнозирование сдвига ветра, возникающего при обтекании препятствий воздушным потоком

5.2.4.3.1 Хотя изменчивая интенсивность сдвига ветра, вызываемого характером местности, хорошо известна, и в силу этой изменчивости он обычно сопровождается турбулентностью при ясном небе, 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:

- 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) [23];
- 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.; и
- f) в особых случаях, когда сложившиеся обстоятельства оправдывают производимые затраты* (например, в районе Гибралтара), могут проводиться гидродинамические испытания на уменьшенных моделях или моделирование на ЭВМ.

5.2.4.3.2 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). Это делается различными путями, но, вероятно, самым простым является ежемесячный или ежегодный расчет

* Обычно такие эксперименты являются дорогостоящими, но не всегда; см., например, справочный материал [24] в отношении анализа воздушного потока над Кипром.

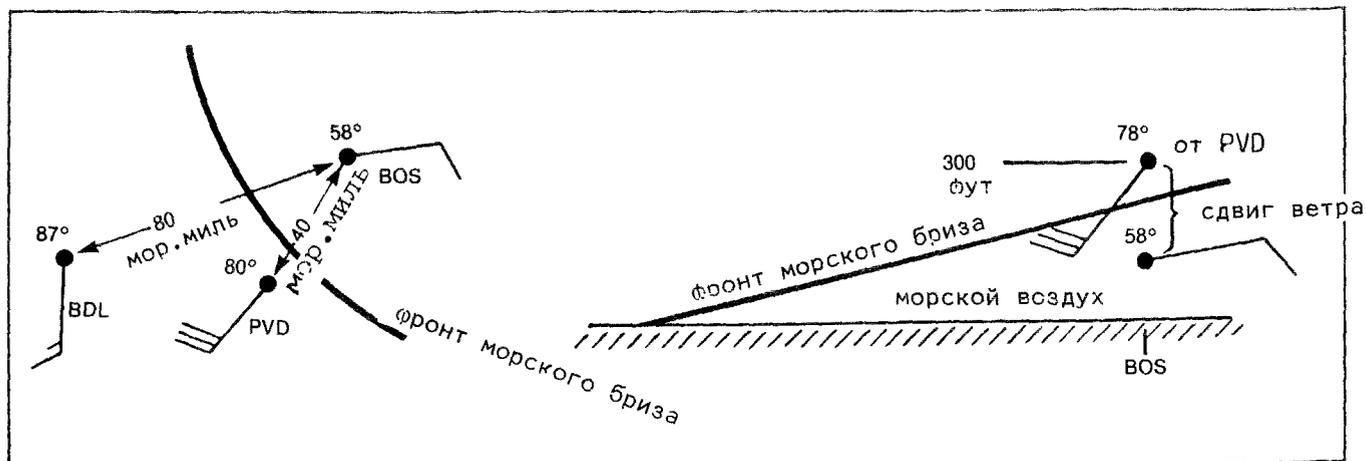


Рис. 5-5. Сдвиг ветра, связанный с морским бризом
(из работы Баднера, 1979)

среднего или среднеквадратичного отклонения соотношения между скоростью порыва и средней скоростью. Пример такого анализа (проводимого ежегодно) показан на рис. 5-6 применительно к международному аэропорту Сейшельских островов [25]. Из этого примера явствует, что юго-западные ветры действительно 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.

5.2.4.3.3 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.

5.2.4.4 Прогнозирование сдвига ветра, связанного с горными волнами

5.2.4.4.1 Особым случаем является ситуация, подобная той, о которой подробно сообщалось в пп. 3.2.8 и 3.2.9, когда воздушный поток обтекает препятствия сбоку или по крайней мере сверху. 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 США). Горные волны обычно образуются на высотах свыше 500 м (1600 футов) 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 футов). В таких обстоятельствах ветер, дующий вниз по склонам подветренной стороны горного хребта, образует часть первой (и поэтому имеющей наибольшую амплитуду) волны, которая усиливает обычный фёновый эффект (см. 3.2.9). Это может приводить к внезапному возникновению очень сильных, порывистых и ощутимо теплых сухих приземных ветров. Известны порывы, скорость которых в экстремальных случаях превышает 100 узл. 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, как известно, могут простираются до уровня земли и обращать вспять обычный приземный ветер (см. рис. 3-4 и 5-7). Интенсивные вихревые течения могут заключать в себе нисходящие/восходящие потоки, обладающие скоростью до 50 узл. (5000 фут/мин) [22].

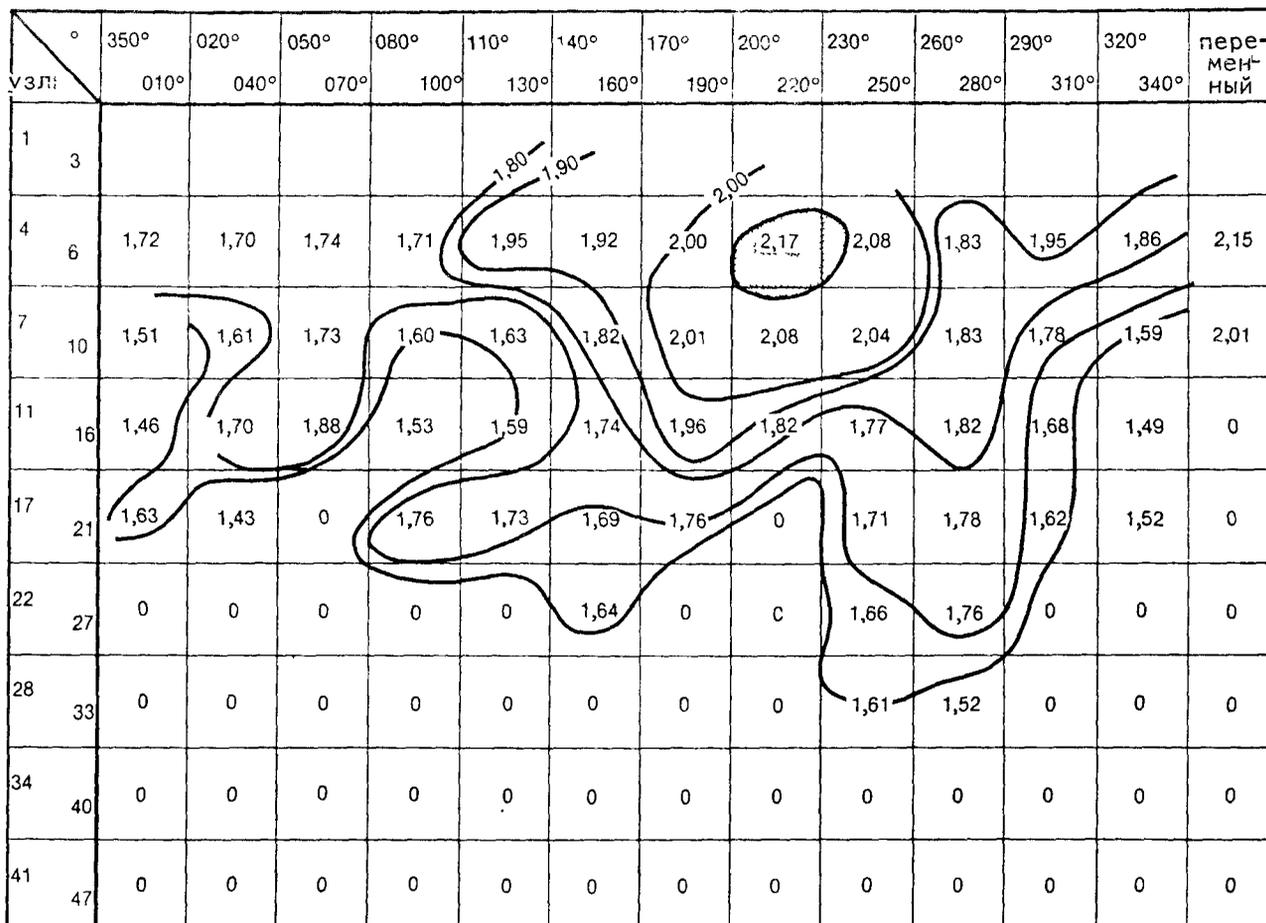


Рис. 5-6. Средний фактор порывов для различных классов ветра по скорости (в узлах) и направлению, применительно к международному аэропорту Сейшельских островов (из издания "Климат Сейшельских островов", 1979)

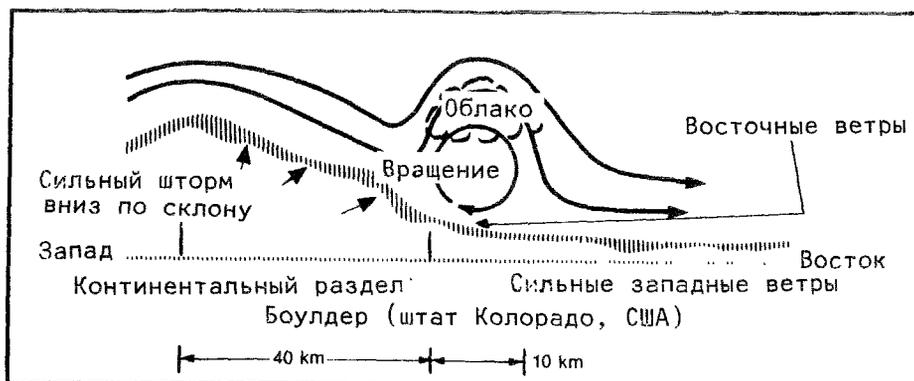


Рис. 5-7. Схематический вертикальный разрез, проходящий через Боулдер, на 24 января 1982 года, предположительно репрезентативный в отношении поля среднего потока, по состоянию на 09.00-18.00 по среднему солнечному времени. Хотя в зоне вокруг Боулдера преобладали ветры общего восточного направления, на высоте 2-3 км над уровнем земли в смолисто-кучево-облачности, систематически образующейся к западу от Боулдера, наблюдались сильные западные ветры (Зипсер и Бедард, 1982)

5.2.4.4.2 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 [26,27]. Наличие чечевицеобразных и вихревых облаков, несомненно, служит прямым показателем присутствия горных волн. Что же касается прогнозирования, то 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, выше 15 узл.) 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, и
- 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 может иметь в основе два из этих факторов - разность давления на уровне моря на противоположных сторонах горного хребта в сравнении со скоростью ветра, направленного перпендикулярно горному хребту [28,29]. При расположении горных хребтов в направлении север-юг образование заметных горных волн может вызываться проходящим холодным фронтом.

5.2.4.5 Прогнозирование сдвига ветра, связанного с кatabатическими ветрами

5.2.4.5.1 Этот вид воздушного потока может быть предметом особого беспокойства для аэродромов, расположенных в долинах. Метеорологическая обстановка, способствующая его образованию (см. п.3.2.7), включает тихие, ясные ночи в условиях антициклона. 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, за исключением чрезвычайных случаев, обычно сам по себе не создает проблем на большинстве аэродромов. 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 100 узл. (например, "бора" в Адриатике).

5.2.4.5.2 Значительный местный сдвиг ветра (над уровнем земли), вызываемый обычными нисходящими по склону кatabатическими ветрами, может иметь место только в том случае, если приземная инверсия, образующаяся ночью, достаточно сильна, чтобы воспрепятствовать смешиванию самых нижних слоев атмосферы [30]. 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) [31]. 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 5 узл./30 м, по всей вероятности является важным фактором для полетов воздушных судов.

5.2.4.6 Прогнозирование сдвига ветра, связанного со струйным течением на малых высотах

5.2.4.6.1 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. 3.1.2.3, 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 солнца [32] 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 времени (UTC). Использование доплеровской системы СОДАР (см. п.5.1.2.3.2.2) особенно подходит для слежения за развитием

инверсии на малых высотах и ежечасного измерения профиля ветра на малых высотах непосредственно над аэродромом.

5.2.4.6.2 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 Баднером [17] 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 (≥ 20 узл.), как определено по изобарической разнесенности на послеполуденных картах поверхности. Горизонтальный барический градиент не должен ослабляться ниже разнесенности, достаточной для создания максимальной скорости ветра 20 узл. 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 30 узл., может произойти значительный сдвиг ветра. Далее принимается, что для создания среднего ослабления сдвига ветра по вертикали: 4 узл./30 м, 30 узл./350 м = $30 \times \frac{30}{350} = 30 \times 0,86 = 2,6$ узл./30 м. Необходима минимальная разность векторов 30 узл. 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 футов).

5.2.5 Прогнозирование неустойчивого сдвига ветра

5.2.5.1 Прогнозирование сдвига ветра, связанного с конвективной облачностью

5.2.5.1.1 Общие положения

5.2.5.1.1.1 Прогноз сдвига ветра на малых высотах, связанный с конвективной облачностью и особенно со сформировавшимися грозами, критически важен для авиации, но подготовить его

чрезвычайно трудно. Прогнозирование конвективной облачности, особенно гроз, в представляющей интерес области, является, конечно, 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, описываются в разделе 3.5. Однако не все грозы порождают такой сдвиг ветра, поскольку иногда он происходит и от негрозового конвективного облака.

5.2.5.1.1.2 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 последнее десятилетие уделяется повышенное внимание, главным образом из-за той опасности, угрожающей жизни людей и чреватой огромным материальным ущербом для данного района, 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, и составленный в результате "прогноз" может как крайний случай послужить не более, чем переданным лишь за несколько критически важных минут до начала какого-либо явления "предупреждением". Эта методика стала в настоящее время известна под общим названием "прогноз на настоящее время" - термин, который Браунинг [33] 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 [34] определяет "прогноз на настоящее время" как составляющий подгруппу "краткосрочного прогнозирования" и являющийся "описанием текущей погоды и прогнозом за 0-2 часа". Это по существу является и определением "прогноза для посадки типа "тренд", как это предусмотрено в п. 6.3.4 Приложения 3, что делает "прогнозы на настоящее время" особенно удобными для применения в авиации.

5.2.5.I.I.3 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 получасовым интервалом;
- g) доплеровская РЛС (включая групповые установки);
- h) система СОДАР;
- i) системы обнаружения и определения местонахождения молний в реальном масштабе времени; и
- j) автоматическая обработка и отображение данных, полученных из вышеперечисленных источников в реальном масштабе времени [357].

5.2.5.I.2 Прогнозирование порывов, фронтов порывов, нисходящих порывов/микропорывов и торнадо

5.2.5.I.2.I При всех без исключения грозах можно ожидать порывов 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. В соответствии с одним из таких методов, предложенным Фобушем и Миллером, используются 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 32°F (иногда называемая "уровнем замерзания по влажному термометру"), понижается до поверхности вдоль линии насыщенной адиабаты. Затем температура этой последней точки в градусах по Фаренгейту ($^{\circ}\text{F}$) вычитается из значения наблюдаемой на поверхности температуры или прогнозируемой температуры ($^{\circ}\text{F}$) до начала грозы. Разность пропорциональна

максимальному порыву согласно графику, представленному на рис. 5-8* [367]. 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 [377]. Наличие прогноза максимального вероятного порыва, разумеется, еще не служит гарантией того, что такой порыв затронет какой-либо конкретный район на пути движения грозы, например, зону аэродрома.

5.2.5.1.2.2 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, а также к возникновению порывов, способных двигаться впереди породившей их грозы или линии шквалов на удалении до 35 км (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, именуется "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 по наблюдениям за его прохождением 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 решить, 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) [387]. Может также применяться методика прогнозирования развития нисходящих порывов, о которой речь пойдет ниже, поскольку фронты порывов образуются из нисходящих порывов. Следует всегда ожидать фронты порывов, движущиеся перед линией шквалов и исходящие из организованных зон грозовой активности. Как упоминается в пп. 3.5.2.3 и 5.1.2.2.3, временами фронт порывов виден на экране обычного 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 точные прогнозы; к сожалению, не все фронты порывов дают такие распознаваемые отраженные сигналы. Наблюдения за вихревыми облаками фронта порывов с помощью метеорологических спутников (см. п. 5.1.2.2.4 и рис. 5-7), 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 LLWSAS, установленной на многих аэродромах США, подробно описывается в п. 5.1.2.3.1. Первоначально эта система предназначалась для краткосрочного предупреждения о фронтах порывов, пересекающих периметр аэродрома, и она хорошо служит этой цели.

5.2.5.1.2.3 Существующая 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

* Иногда это называется "индексом дельта - T".

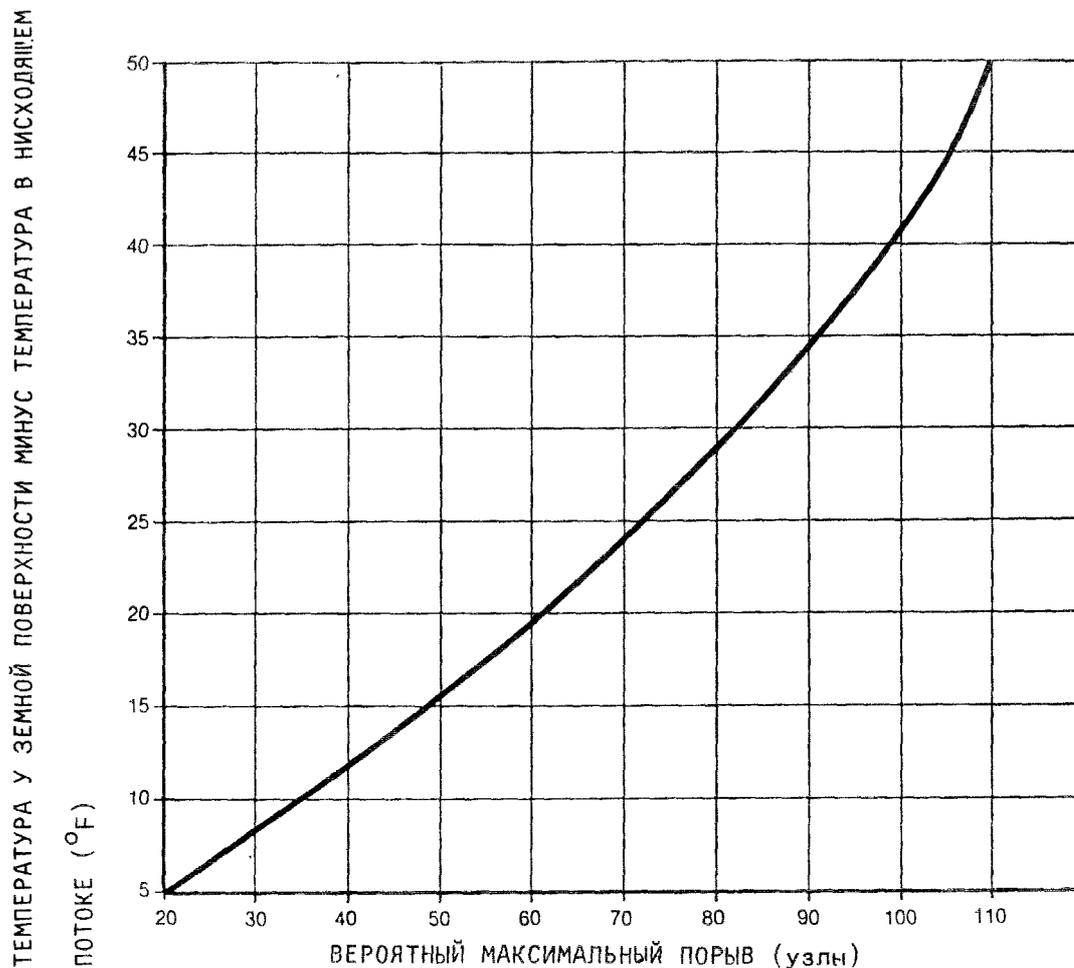


Рис. 5-8. Эмпирические прогнозы вероятных максимальных порывов (по Джорджу, 1960)

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 схематически [39] на рис. 5-9 а), а типичная эволюция отраженных радиолокационных сигналов на различных этапах и расположение нисходящих порывов показаны на рис. 5-9 б). Понятие копьевидного отраженного сигнала введено Фудзитой и Байерсом в анализе (1976 год) метеорологических аспектов авиационного происшествия с самолетом авиакомпании "Истерн эрлайнз" в аэропорту имени Джона Кеннеди в июне 1975 года. Копьевидный отраженный сигнал в плане и по вертикали представлен схематически на рис. 5-10 [40]. Следует также провести сравнение с рис. 3-II. Схемы типичных вершин облаков в плане и по вертикали, наблюдаемые на инфракрасных снимках гроз, порождающих нисходящие порывы, показаны на рис. 5-II [39]. Распознавание таких характеристик отраженного радиолокационного сигнала не всегда является простым делом, а отсутствие такого сигнала отнюдь не исключает возможного развития очень



Рис. 5-10. Вид в плане предложенной Фудзитой-Байерсом модели копьевидного отраженного сигнала (Фудзита, 1976)

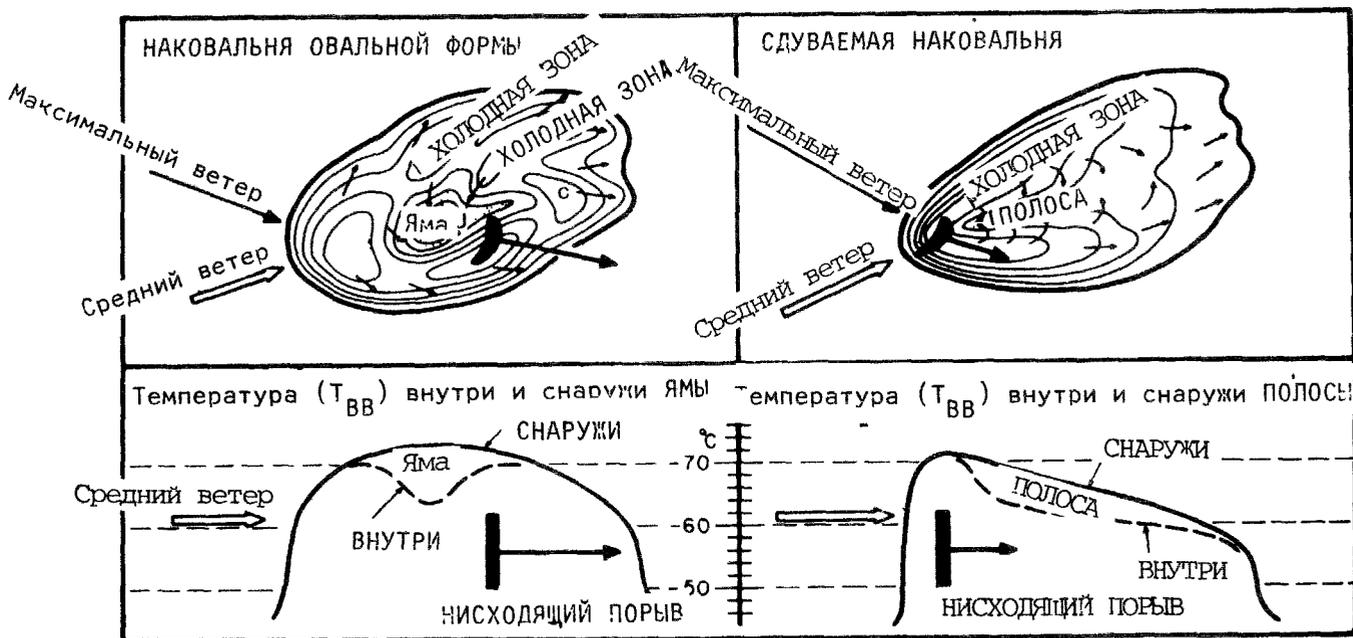


Рис. 5-II. Схематические диаграммы в плане и профиле распределения температуры на вершине облака ($T_{ВВ}$). Средний ветер означает ветер среднего слоя от 0 до 3 км или от 3 до 6 км ниже высоты максимального ветра вблизи уровня наковальни. Основано на результатах инфракрасного анализа четырех случаев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

сильных гроз. В отношении проблем, касающихся использования такой методики для интерпретации и прогноза сильных гроз, следует обратиться к оригиналам технических документов, приводимых в перечне справочных материалов под номерами I7, 39, 41, 42, 43, 49, 50 и 51.

5.2.5 I.2.4 В 1982 году Браунинг указал, что методика "прогноза на настоящее время" находится "в текучем состоянии" [33]. Значительные усилия в области науки и техники затрачиваются на разработку оборудования дистанционного измерения, преобразование в цифровую форму, обработку и взаимосвязанное отображение радиолокационных, спутниковых и шаропилотных данных; аналогичные исследовательские усилия сосредоточены в области создания теоретической основы прогнозирования очень сильных гроз и сопутствующих им нисходящих порывов, микропорывов и торнадо (см. рис. 5-12) [44]. Возможные результаты этих усилий будут постепенно внедряться в ближайшие несколько лет в область прогнозирования погоды на эксплуатационном уровне. Некоторые альтернативы, предложенные для применения на эксплуатационном уровне, в будущих системах наблюдения и прогнозирования сдвига ветра на малых высотах рассматриваются в главе 6.

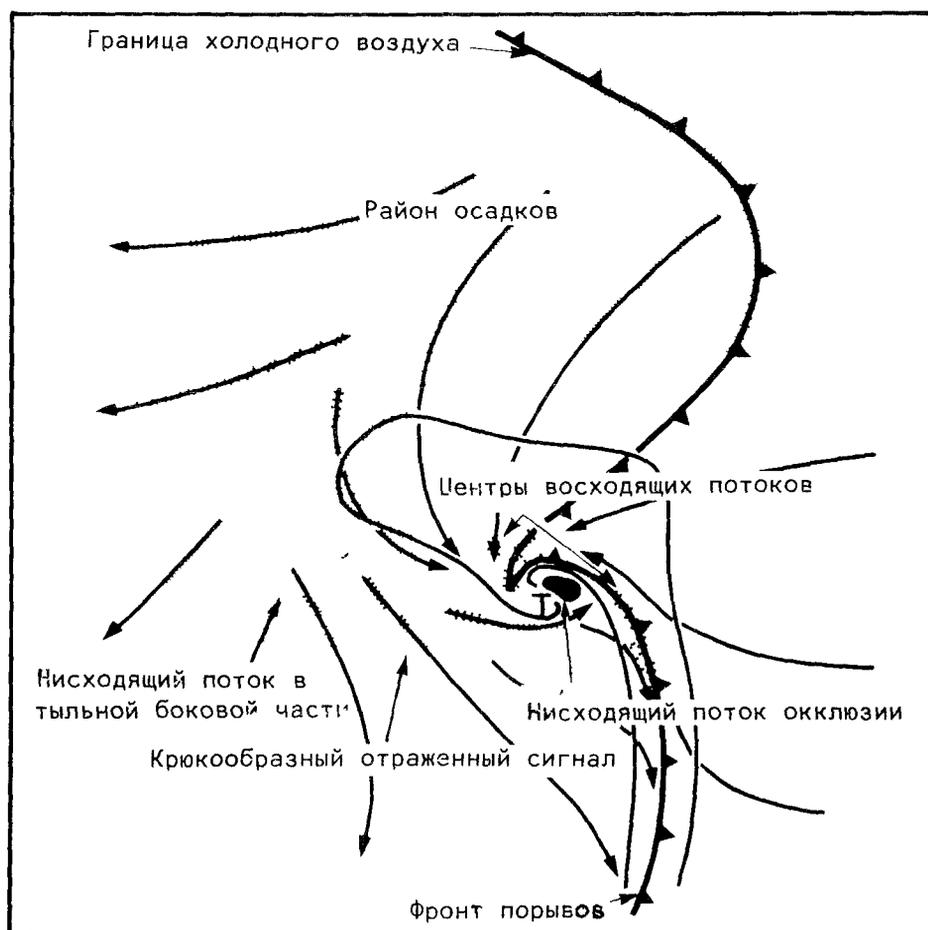


Рис. 5-12. Модель грозы, включающей торнадо (Вейсман, 1983)

5.3 ПЕРЕДАЧА СООБЩЕНИЙ О СДВИГЕ ВЕТРА

5.3.1 Общие положения

5.3.1.1 В первых двух пунктах перечня эксплуатационных требований, содержащихся в дополнении А, 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.

5.3.1.2 Информация о сдвиге ветра на малых высотах в районе аэродрома в настоящее время может основываться на донесениях пилотов, передаваемых при посадке и взлете, результатах непосредственных наблюдений с земли, прогнозах, подготовленных на основе общей метеорологической информации, или показаниях приборов или систем приборного оборудования, специально установленных для этой цели на аэродроме. Поток информации о сдвиге ветра схематически показан на рис. 5-12. 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.

5.3.1.3 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 конвективной облачностью, но особенно с грозами. Период существования микропорывов (наиболее опасного невидимого проявления сдвига ветра при грозе) обычно длится менее 15 минут. В процессе работ по проекту JAWS (см. п.3.5.4.2) из 40 микропорывов, наблюдавшихся при помощи доплеровской РЛС, 50% достигали максимума интенсивности через 5 минут с момента обнаружения, а 95% - в пределах 10 минут со времени достижения расходящимся потоком земли (см. рис. 3-17). Некоторые из них рассеивались за 5-10 минут, причем максимальный дифференциал скорости ветра в микропорыве повышался за это время с 25 до 50 узл. 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 минут. Вышесказанное наглядно иллюстрирует трудности, связанные с "фактором времени": чтобы быть эффективными, донесения пилотов и предупреждения пилотам о сдвиге ветра должны передаваться с максимальной возможной быстротой.

5.3.1.4 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 и т.д. Это не банальные вопросы, поскольку от ответа на них зависит ход действий, предпринимаемых пилотом.

5.3.1.5 Для иллюстрации этого момента достаточно двух примеров 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). Что может быть проще, прямее и информативнее, чем 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. Даже 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 это одно 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 Исследовательская группа ИКАО по сдвигу ветра и турбулентности на малых высотах (WIST), являются "эффект перелета" и "эффект недолета" (см. добавление В). Эти термины, конечно, длиннее, но легко могут быть понятны пилотам. Вначале имелись затруднения в связи 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".

5.3.1.6 Трудность решения проблемы, связанной с классификацией интенсивности сдвига ветра, о чем говорилось в п. 5.2.2, 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 о сдвиге ветра. Рекомендованные пятой Аэронавигационной конференцией (Монреаль, 1967 год) "промежуточные критерии интенсивности сдвига ветра" (см. таблицу 5-1) 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 Королевским научно-исследовательским авиационным институтом в Бедфорде (см. п. 5.2.2.2 е)), показывают, что промежуточные критерии, по крайней мере в отношении сдвига в горизонтальных составляющих ветра, вероятно, скорее всего свидетельствуют о весьма осторожном подходе [457].

5.3.2 Донесения о сдвиге ветра с борта воздушных судов

5.3.2.1 Ввиду недостатка в настоящее время рабочего оборудования дистанционного определения, способного обнаруживать и измерять сдвиг ветра на малых высотах, информация о сдвиге ветра основывается главным образом на донесениях пилотов; такое положение дел должным образом констатируется в пп. 4.12.1 и 7.4.2 Приложения 3. Такие донесения пилотов составляются согласно пп. 5.5.1 (с соответствующим примечанием), 5.5.2 и 5.8.3 Приложения 3. Это означает, что, 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 пилотам следует 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.

5.3.2.2 Инструктивный материал, предназначенный для оказания пилотам помощи при составлении донесений о сдвиге ветра, разработан при содействии 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 пилотов 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-балльной 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 п.5.8.3 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.

5.3.2.3 Инструктивный материал по рекомендуемой для применения при ведении связи "воздух-земля" терминологии, касающейся сдвига ветра, который также разработан при содействии Исследовательской группы WIST, содержится в добавлении В. Ниже приводятся примерные донесения, соответствующие вышеизложенным инструктивным указаниям:

A. Минимальные донесения в отсутствие времени и/или информации для более подробного сообщения

" [Позывной] СДВИГ ВЕТРА В727 ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ (ВПП 36)"; или

" [Позывной] СИЛЬНЫЙ СДВИГ ВЕТРА В727 ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ (ВПП 36)";
или

" [Позывной] СДВИГ ВЕТРА" DC10 ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ (ВПП 28");
или просто

" [Позывной] СДВИГ ВЕТРА".

В. Более развернутые донесения при наличии времени и информации

" [Позывной] УМЕРЕННЫЙ СДВИГ ВЕТРА ТРАЙСТАР НА ВЫСОТЕ 150 ФУТОВ
ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ (ВПП 36) ПОТЕРЯ (ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ) НА 10 УЗЛОВ"

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

" [Позывной] СИЛЬНЫЙ СДВИГ ВЕТРА В707 ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ (ВПП 26)
НАПРАВЛЕНИЕ И СКОРОСТЬ ВЕТРА ИЗМЕНИЛИСЬ С 350 ГРАДУСОВ 45 УЗЛОВ НА
ВЫСОТЕ 500 ФУТОВ ДО 230 ГРАДУСОВ 10 УЗЛОВ НА ВЫСОТЕ 200 ФУТОВ".

5.3.3 Передача сообщений органов обслуживания воздушного движения
о сдвиге ветра

5.3.3.1 Как показано на рис. 5-13, органы ОВД являются критически важным связующим звеном между воздушными судами и между воздушным судном и метеорологическим органом. По получении донесения пилота о "сдвиге ветра" соответствующему органу ОВД следует:

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

5.3.3.2 Ретрансляция донесений пилотов о сдвиге ветра на борт других воздушных судов и обеспечение пилотов информацией о сдвиге ветра вообще оговорены в Правилах авиационного обслуживания - Правилах полетов и обслуживание воздушного движения (PANS-RAC), часть IY, пп. 5.1 и 13.3 в) и часть Y, п. 7.3 в). Ретранслировать донесение пилота следует без изменения его содержания, хотя следует включать в ретрансляцию дополнительную информацию об относящихся к делу фактах, отсутствующую в донесении пилота, если такая информация имеется (например, тип воздушного судна, ВПП и т.п.). Донесения следует ретранслировать, соблюдая следующую стандартную последовательность, причем их содержание будет зависеть от того, насколько подробным является оригинал донесения:

- а) "сдвиг ветра" - определяющая характеристика;
- б) тип воздушного судна - добавляется, если он не включен в текст оригинала донесения;
- в) 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 информация о полете - 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".

5.3.3.3 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 пп. 4.3.5.I I7), 4.3.6.I I7) и 4.3.7.I I2) Приложения II.

5.3.3.4 Вопрос о ретрансляции органами ОВД донесений пилотов о сдвиге ветра соответствующему метеорологическому органу затрагивается в PANS-RAC, часть II, п. I6.I. Эти донесения составляют основу предупреждений о сдвиге ветра, подготавливаемых метеорологическим органом (см. п.5.3.4 ниже).

5.3.3.5 В перечне эксплуатационных требований, содержащемся в добавлении А, пункт 2.I а), указывается на необходимость обеспечения пилотов информацией об изменениях приземного ветра вдоль ВПП. Горизонтальный сдвиг ветра вдоль ВПП, определяемый по большим колебаниям приземного ветра и/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 т.п. (см. главу 4) и может создавать трудности для пилотов при приземлении и пробеге по земле, а также во время разбега при взлете. В Приложении 3, п. 4.5.3, рекомендуется устанавливать на аэродромах, где существует такая проблема, не один, а несколько датчиков. В соответствии с PANS-RAC информация о приземном ветре и о его значительных изменениях и колебаниях должна обеспечиваться следующим образом:

- орган диспетчерского обслуживания подхода передает ее воздушным судам при первом установлении связи и в начале полета на конечном участке захода на посадку (часть IV, пп. I3.I b), I3.3 a);
- ее должны иметь соответствующие районные диспетчерские центры или центры полетной информации для передачи на борт сверхзвуковых воздушных судов (часть VI, пункт I.3.5.I a) i);
- она передается аэродромными диспетчерскими пунктами на борт воздушных судов перед их входом в аэродромный круг движения (часть V, пункт 7,4 b); и
- передается аэродромными диспетчерскими пунктами воздушным судам перед началом руления для взлета и перед взлетом (часть V, пп.7.2 b) и 7.3 a)).

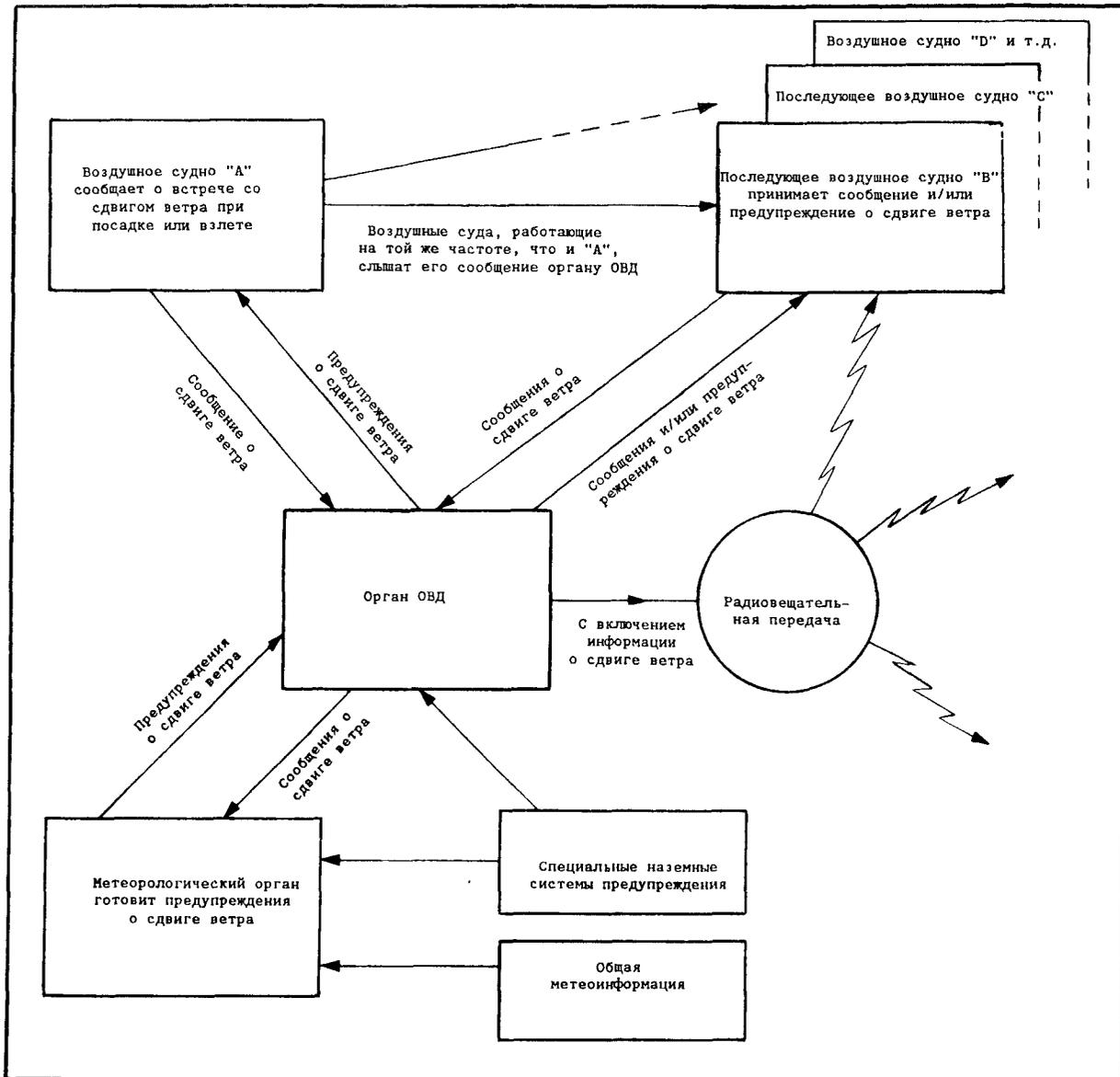


Рис. 5-13. Поток информации о сдвиге ветра между метеорологическими органами, органами ОВД и пилотами

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 ОТ 10 ДО
20 УЗЛОВ С ПОРЫВАМИ 30 УЗЛОВ".

5.3.3.6 На некоторых аэродромах (главным образом в Соединенных Штатах Америки) установлена система предупреждения о сдвиге ветра на малых высотах (LLWSAS) (см. п. 5.1.2.3.1). 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 ≥ 15 узлов) по разности показаний между анемометрами, установленными по периметру и в центре летного поля, в дисперчерском 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".

5.3.3.7 Органам обслуживания воздушного движения 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 он больше не имеет значения для полетов в зоне аэродрома. Об аннулировании метеорологическим органом предупреждения о сдвиге ветра говорится в Приложении 3, п. 7.4.5, более подробно этот вопрос рассматривается в п. 5.3.4.6, ниже. Органу ОВД следует продолжать ретрансляцию донесений пилотов о сдвиге ветра на борт тех воздушных судов, которых это касается, до тех пор, пока донесение(я) не будет(ут) включено(ны) 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.

5.3.4 Передача сообщений метеорологических органов о сдвиге ветра

5.3.4.1 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, пп. 7.4.I до 7.4.5 включительно); и
- b) в разделе дополнительной информации текущих и специальных метеорологических сводок (см. Приложение 3, пп. 4.I2.I, 4.I2.3, 4.I2.5, 4.I3.I к) и 4.I3.2).

5.3.4.2 Предупреждения о сдвиге ветра могут основываться на донесениях с борта воздушных судов, получаемых через орган ОВД (см. п.5.3.3.4, выше), 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 обозначать идентификатором "WS WRNG" (сокращение английских слов "ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ МЕТЕОСЛУЖБЫ", например:

"WS WRNG ПРИЗЕМНЫЙ ВЕТЕР 320/10 ВЕТЕР НА ВЫСОТЕ 60 М 360/25 ПРИ ЗАХОДЕ
НА ПОСАДКУ"
/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:

"WS WRNG B707 СООБЩИЛ УМЕРЕННЫЙ СДВИГ ВЕТРА ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ
ВПП 34 I510".

5.3.4.3 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. Не следует поддаваться этому искушению и предупреждения всегда должны составляться как можно более сжато и содержать ясное указание их статуса "прогноза" путем использования таких сокращений, как FCST, EXP (сокращение английских слов "ПРОГНОЗ", "ОЖИДАЕТСЯ") или слова POTENTIAL ("ВОЗМОЖНО") и т.д.

5.3.4.4 Необходимо также учитывать вопрос о конвективном и неконвективном сдвиге ветра и, возможно, эти виды сдвига потребуются 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 линии шквалов, сильные штормы и т.д. Такое предупреждение может выглядеть следующим образом:

"WS WRNG YUDO 1500 UTC ЛИНИЯ ШКВ ЗСВ ДВИЖ В ВОСТ НАПРАВЛ 20 УЗЛ СДВ ВЕТРА
ОЖИДАЕТСЯ ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ И ВЗЛЕТЕ НА ВСЕХ ВПП ЧЕРЕЗ ЧАС"

Форму подготовки предупреждений о конвективном сдвиге ветра и правила их представления следует согласовывать на месте для каждого аэродрома или по крайней мере в рамках каждого

аэродрома или по крайней мере в рамках каждого государства между полномочными органами ОВД, полномочными метеорологическими органами и заинтересованными эксплуатантами. 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.

5.3.4.5 Что касается неконвективного сдвига ветра, то возможность прогнозирования сопутствующих метеорологических явлений намного выше. Примерами таких предупреждений могут быть:

"WS WRNG YUDO 0900 UTC ПРОГНОЗ СДВ ВЕТРА ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ И ВЗЛЕТЕ НИЖЕ 2000 ФУТ МЕЖДУ 2100 UTC И 0300 UTC ИЗ-ЗА СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА МАЛ ВЫС"

"WS WRNG YUDO 0500 UTC ПРОГНОЗ СДВ ВЕТРА ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ И ВЗЛЕТЕ НИЖЕ 1000 ФУТ МЕЖДУ 0600 UTC И 0900 UTC ИЗ-ЗА СИЛЬНОГО ФРОНТА МОРСКОГО БРИЗА".

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 и т.д. следует включать подробные сведения об этом в раздел MET государственных АИПов в качестве полезной исходной информации для пилотов, а эксплуатантам следует включать такую информацию в соответствующие маршрутные инструктивные указания.

5.3.4.6 В соответствии с Приложением 3, п. 7.4.5, 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 ИКАО по координации между органами обслуживания воздушного движения и авиационными метеорологическими службами (Дос 9377).

5.3.4.7 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 и значительно опережает по времени включение предупреждений о сдвиге ветра в 1983 году в главу 7 Приложения 3. Таким образом, наблюдатели хорошо 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, имеющей различный объем и составленной сокращенным открытым текстом. Известно, что это создавало проблемы в прошлом, и в силу этой и других причин вопрос совместимости авиационных цифровых кодов при автоматической обработке в настоящее время рассматривается ВМО при консультации с ИКАО. Пример такой дополнительной информации, передаваемой сокращенным открытым текстом с сокращениями, может выглядеть следующим образом:

"СПЕЦИАЛЬНАЯ СВОДКА YUDO 050/25 УЗЛ МАКС 37 ВИДИМОСТЬ 2500 М ГР 7/8 НГО
500 ФУТ УМЕРЕН СДВ ВЕТРА СООБЩЕН В707 ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ ВПП 08"

5.3.5 Комплексная программа ФАУ по сдвигу ветра (аэродромная информация)

5.3.5.1 В данной составной части программы речь идет о разработке правил своевременной передачи пилотам информации о сдвиге ветра в районе аэродрома. Она охватывает использование таких современных систем, как LLWSAS (см. п. 5.1.2.3.1) и метеорадиолокатор (см. п. 5.1.2.2.3), и таких будущих систем как NEXRAD (см. п.6.2.1) и TDR (см. п.6.2.2).

5.3.6 Типовая система предупреждения о сдвиге ветра

5.3.6.1 Производимое в заключение рассмотрение типовой "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 особой проблемы 46.

5.3.6.2 В Финляндии, а по существу и во всей Скандинавии, как 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, была использована существующая мачта для телевизионного передатчика высотой 1000 фут., расположенная около 20 км к юго-западу от аэропорта, на которой на выбранных уровнях установлены 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 ($\geq 10^{\circ}\text{C}$ в соответствии с временным требованием, сформулированным в Рекомендации 3/5 Восьмой аэронавигационной конференции, Монреаль, 1974 год. 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 УЗЛ
ВЕТЕР НА 300 ФУТ 090/05 УЗЛ
ИНВЕРСИЯ НА 12⁰С НИЖЕ 900 ФУТ"

В силу того факта, что предупреждение о сдвиге ветра инверсии действует в любое время: упоминается в качестве примечания в регулярной метеосводке, которая также автоматически отображается на экранах мониторов аэродромной внутренней телевизионной системы. Эта система предупреждения находится в регулярной эксплуатации с 1978 года и очень хорошо себя зарекомендовала. Аналогичные системы эксплуатируются в других местах, например, в Дании, Гонконге, Швеции и Советском Союзе. В Гонконге анемометры установлены на возвышенности в стратегических точках вдоль траектории захода на посадку /43/.

Глава 6

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

6.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.1.1 Имеется ряд реализуемых или предложенных проектов по научным исследованиям и разработкам, касающимся специальных систем предупреждения о сдвиге ветра, или исследованиям общего метеорологического характера, которые могут содействовать прогнозированию явлений, способных вызывать сдвиг ветра. За последние несколько лет отмечался быстрый прогресс, особенно в трех областях, которые, будучи взяты вместе, являются многообещающими в плане разработки очень мощных систем/методов, в частности для обнаружения и прогнозирования сдвига ветра. Этими представляющими интерес тремя областями являются: оборудование дистанционного обнаружения, высокоскоростная автоматизированная обработка и анализ данных с использованием мощных микро-ЭВМ и эффективных алгоритмов и методика применения взаимодействующих устройств визуального отображения, причем все эти виды оборудования и систем работают в реальном масштабе времени. Представляется целесообразным рассмотреть вначале различные разрабатываемые виды оборудования, а затем некоторые предлагаемые системы, в которых используется это оборудование, а также применение такого оборудования и систем для прогнозирования сдвига ветра.

6.1.2 Научные исследования также ведутся в области разработки бортового оборудования, необходимого для оказания содействия пилоту при встречах со сдвигом ветра. Один из подходов заключается в рассмотрении оптимальной траектории, по которой воздушному судну следует лететь, чтобы восстановить нормальное положение и выйти из зоны сдвига ветра. Такой подход разрабатывается в Соединенных Штатах Америки группой аэро- и астронавтики Райсского университета, которая рассматривает оптимальные траектории, законы наведения и управления, а также технику пилотирования, необходимую для выдерживания таких траекторий. Эти исследования финансируются центром НАСА в Лэнгли, Ассоциацией линейных пилотов США и компанией "Боинг аэроспейс". Ожидается, что данные научные исследования внесут существенно важный вклад в проектирование приборного оборудования кабины экипажа, предназначенного для оказания помощи пилотам при встрече со сдвигом ветра /I/.

6.2 РАЗРАБАТЫВАЕМОЕ ИЛИ ПРЕДЛАГАЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

6.2.1 Метеорологическая РЛС следующего поколения (NEXRAD)

6.2.1.1 NEXRAD представляет собой усовершенствованную импульсную доплеровскую РЛС (10-см диапазона), разрабатываемую в настоящее время в Соединенных Штатах Америки для удовлетворения общих требований главных пользователей метеоданных, на которых основывается информация о местоположении, интенсивности и движении таких явлений погоды, как торнадо, сильные грозы, обильные осадки, тропические циклоны, град, сдвиг ветра и турбулентность. Каждая установка NEXRAD обеспечит зону действия по дальности свыше 200 мор.миль и по высоте более 60 000 фут с обновлением информации каждые $\frac{3I}{2}$ минуты. В свете широкого

диапазона требований, размера зоны действия и, следовательно, высокой скорости поступления данных NEXRAD будет в огромной степени зависеть от автоматизации процесса обработки данных с тем, чтобы можно было их анализировать и представлять пользователям в реальном масштабе времени. NEXRAD не предназначена специально для обнаружения сдвига ветра и поэтому вряд ли будет оптимизирована в направлении решения этой задачи. Тем не менее, очевидные усовершенствования, которые эта РЛС, вероятно, внесет в дело распознавания и прогнозирования развития и движения сильных гроз и т.д., окажет значительное содействие в подготовке предупреждений о сдвиге ветра. Доклад о ходе разработки NEXRAD был опубликован издательством Эванс в июне 1985 года [27].

6.2.2 Доплеровская РЛС, специально предназначенная для обнаружения сдвига ветра в зоне аэродрома

6.2.2.1 В дополнение к NEXRAD ФАУ в Соединенных Штатах Америки предложило устанавливать на аэродромах автоматическую аэродромную доплеровскую РЛС (TDR), специально предназначенную для обнаружения сдвига ветра на малых высотах. Обсуждаются различные альтернативы в отношении, например, одиночной или вдвоенной установки, установки в пределах или за пределами аэропорта, импульсной доплеровской РЛС или доплеровской РЛС непрерывного излучения с частотной модуляцией (FM-CW), с длиной волны 3, 5 или 10 см. Каждый вариант имеет свои преимущества и недостатки; установка одиночной РЛС явно дешевле вдвоенной, но она не может обеспечить трехмерное измерение движения ветра (скорость и направление) подобно вдвоенной установке (см. п. 5.1.2.3.3.3 и 5.1.2.3.4). Эффективность одиночной установки зависит от разработки сложных автоматизированных высокоскоростных алгоритмов для обнаружения в реальном масштабе времени характерных особенностей сдвига ветра в поле радиальных потоков [3, 4, 57]. Размещение РЛС на аэродроме имеет преимущество, связанное с наличием коротких линий передачи данных и близостью к траектории захода на посадку и взлета, но создает проблему, связанную с мешающими отражениями от наземных строений аэропорта и т.д. [67]. На больших аэродромах система ВПП зачастую настолько сложна, что нет возможности направить антенну РЛС вдоль всех посадочных глиссидов и траекторий взлета и начального набора высоты. Импульсная доплеровская РЛС излучает мощные импульсы с малым коэффициентом заполнения, тогда как доплеровская РЛС непрерывного излучения с ЧМ излучает сигналы малой мощности с максимальным коэффициентом заполнения при линейной модуляции по частоте. Доплеровская РЛС непрерывного излучения с ЧМ может работать с высоким уровнем средней мощности в широком диапазоне сигнала, тем самым достигая более высокого уровня чувствительности и разрешающей способности на малых удалениях, чем импульсная доплеровская РЛС. Высокая разрешающая способность в значительной степени содействует подавлению мешающих отражений от земли и позволяет обнаруживать такие более мелкие детали воздушного потока, как вихри крыла и турбулентность при ясном небе. Для осуществления окончательной доводки РЛС нужной конструкции потребуются дальнейшие исследования.

6.2.3 Определители профиля ветра

6.2.3.1 Непрерывное измерение ветра (всех его трех составляющих) на высотах вплоть до тропопаузы может осуществляться при помощи вертикально направленных доплеровских ОВЧ- и УВЧ-РЛС [77]. Из этих двух типов определителей профиля ветра доплеровская УВЧ-РЛС более приспособлена для измерения ветра в пограничном слое в масштабе времени, близком к реальному, и может давать по меньшей мере часовые профили ветра в окрестностях аэродрома. Определители профиля ветра вызывают значительный интерес в области исследований, поскольку их потенциальные возможности по расширению функций, а, может быть, и замене существующей сети шаропилотных средств зондирования, что привело бы к уменьшению затрат и в то же время к обеспечению определения профилей ветра с большей частотой и более высокой

разрешающей способностью, способны революционизировать всю область прогнозирования в мезомасштабных рамках. О делители профиля ветра могут быть особенно полезными для обнаружения устойчивого сдвига ветра, связанного, например, со струйными течениями на малых высотах и слежения за ними, но если не считать их использования для получения дополнительных данных в целях прогнозирования сильных гроз и т.д. - они непригодны для обнаружения конвективного сдвига ветра вдоль траекторий захода на посадку и взлета. Ряд исследовательских учреждений, в частности в Соединенных Штатах Америки, установили доплеровские СВЧ- и УВЧ- РЛС для измерения профиля ветра в испытательных целях, и полученные до сего времени результаты являются весьма обнадеживающими.

6.2.3.2 Помимо данных, получаемых от нескольких установок доплеровской РЛС, большой объем данных о ветре на малых высотах, используемых для исследовательских целей, поступает от бортовых комплексных систем регистрации данных (AIDS), устанавливаемых на все большем количестве реактивных транспортных воздушных судов. Это особенно характерно для проведения расследования авиационных происшествий. В будущем возможно также использовать эти данные в реальном масштабе времени через различные линии передачи данных воздушным и наземным каналам, и этот вопрос в настоящее время рассматривается на предмет их использования в целях обслуживания воздушного движения. При этом на эксплуатационном уровне может обеспечиваться информация о профиле ветра на аэродроме во время посадки и взлета.

6.2.4 Спутниковый многоканальный СВЧ-радиометр со сканированием (SMMR)

6.2.4.1 Оборудование SMMR, установленное на экспериментальном спутнике Соединенных Штатов Америки NIMBUS 7, измеряет микроволновое излучение, передаваемое с земли на пяти спектральных диапазонах с длиной волны в пределах 0,8-2,8 см. Облака обычно весьма прозрачны для микроволнового излучения, передаваемого с земли в диапазоне 0,8 см. Однако, как было обнаружено, излучение в этом диапазоне при прохождении сквозь облачность затухает пропорционально наличию в облаках частиц льда, обладающих размером, достаточным для выпадения осадков. Это интересное явление позволяло исследователям выявлять в диапазоне 0,8 см (37 ГГц) особенно "холодное" микроволновое излучение от облачной массы (т.е. от крупных скоплений частиц льда) и соотносить это с развитием очень сильной конвективной активности. Полученные на текущий момент результаты являются обнадеживающими и были идентифицированы "ледяные характеристики" цели, даже невзирая на тот факт, что в силу нахождения спутника NIMBUS 7 на полярной орбите непрерывное слежение за конкретной облачностью облачной массы не представляется возможным. Исследователи предполагают, что дальнейшие научные поиски, возможно, с привлечением высотных воздушных судов, оборудованных комплексом измерительной аппаратуры, могут вполне указать на необходимость рассмотрения вопроса об установке таких пассивных микроволновых датчиков на будущих метеорологических спутниках, выводимых на геостационарную орбиту /8/.

6.3 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ

6.3.1 Прогнозирование на настоящее время

6.3.1.1 В основе будущих систем прогнозирования на настоящее время скорее всего будут лежать разумные комбинации различного оборудования, рассматриваемого в разделе 6.2, выше, вместе с обычными РЛС, метеорологическими спутниками и усовершенствованными сетями наблюдения в мезомасштабных рамках. В ряде государств уже ведется разработка таких систем, например, прототипы опытной службы регионального наблюдения и прогнозирования (PROFS) в Соединенных Штатах Америки, проекта очень краткосрочного прогнозирования

"PROMIS-90" в Швеции, автоматизированной системы сбора метеоинформации AMEDAS в Японии и проекта FRONTIERS в Соединенном Королевстве.

6.3.1.2 В этих системах радиолокационные данные в цифровой форме, получаемые от организованной радиолокационной (обычной или доплеровской) сети, комбинируются в композиционную картину данных и накладываются на картину текущего состояния атмосферы, составленную по информации, полученной с помощью метеоспутников, радиозондов, сетей мезомасштабного наблюдения и т.д. Комбинированные данные в визуальной форме поступают к проводящему анализ специалисту в реальном масштабе времени и практически в любой желаемой конфигурации. Специалист-аналитик может сопоставлять данные, используя клавиатуру своего дисплея с целью составления прогноза на настоящее время. Возможный вариант конфигурации такой будущей системы показан на рис. 6-1 [9]. Что касается сдвига ветра, то эти системы окажут существенную помощь в прогнозировании сильных гроз, тем самым создавая усовершенствованную структуру местного прогнозирования сдвига ветра на малых высотах, связанного с такими грозами. Вероятно также и то, что в ходе эксплуатации этих систем станет возможным опознавать и классифицировать особенности, или характеристики целей, представляющих предвестников сдвига ветра, что в итоге непосредственно скажется на прогнозировании сдвига ветра.

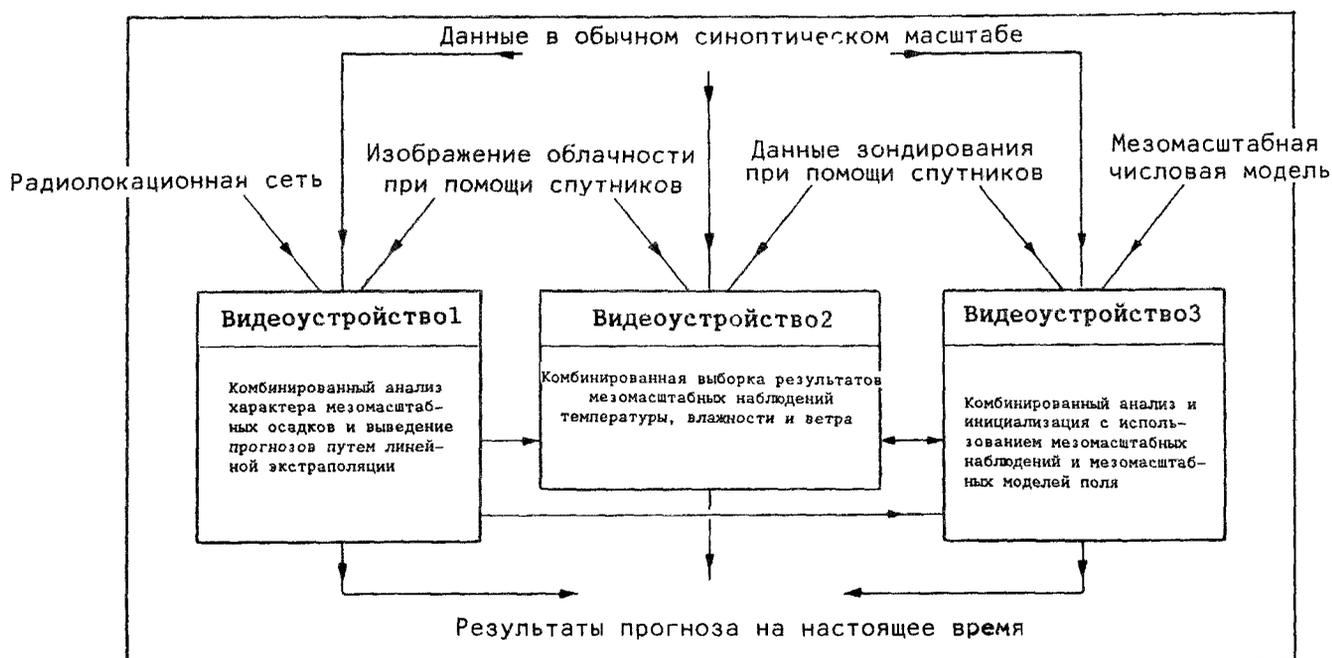


Рис. 6-1. Возможная конфигурация видеоустройств в будущем центре прогнозов на настоящее время и очень краткосрочных прогнозов (Браунинг и Коллиер, 1982)

6.3.2 Параметр ухудшения траектории полета

6.3.2.1 Параметр ухудшения траектории полета составляет основу системы, предложенной и испытанной в различных конфигурациях Фростом, Кесселем, Маккарти, Верном-Норвейлем, Тэркелем и др., которая предназначена для обеспечения пилота воздушного судна при выполнении посадки или взлета заблаговременным предупреждением о продольном сдвиге ветра на малых высотах, считающемся опасным для воздушного судна данного типа [I0], [I1], [I2], [I3]. В систему входит доплеровская РЛС с направлением луча вдоль посадочной глиссады/траектории начального набора высоты, соединенная с неавтономным процессором, содержащим двухмерную с тремя степенями свободы модель воздушного судна, включая функцию управления пилотом/автопилотом. Доплеровская РЛС измеряет радиальные значения ветра вдоль посадочной глиссады, затем процессор вычисляет в реальном масштабе времени спектр сдвига ветра, рассчитывает вероятную траекторию полета воздушного судна и, наконец, определяет отклонения от траектории полета при наблюдаемом и вычисленном режимах ветра. Все эти вычисления выполняются в реальном масштабе времени и достаточно быстро, что позволяет передать предупреждение на борт заходящего на посадку или вылетающего воздушного судна. До сих пор система испытывалась только на имитаторах авиакомпаний, но эти испытания привели к внедрению таких разнообразных усовершенствований, как включение функции реакции воздушного судна применительно к его типу. Из шести испытанных параметров ухудшения траектории полета наиболее эффективным на этапе захода на посадку/посадки оказалось отклонение воздушной скорости от номинального значения скорости захода на посадку. Испытания также показали, что для пилотов, следящих за изменением летных характеристик воздушного судна, колебания воздушной скорости выглядят более критическими, чем отклонения от глиссады. В нынешнем конструкторском варианте (см. рис. 6-2) [I3] система может показаться весьма консервативной; однако согласно выводу, к которому пришли Маккарти и Верн-Норвейл, предназначение предлагаемой доплеровской/числовой модели системы обнаружения и предупреждения о сдвиге ветра на малых высотах состоит в определении потенциального сдвига ветра в окрестностях аэропорта в количественном выражении, достаточном для предупреждения о потенциально опасных условиях захода на посадку и вылета. В функции системы не входит точное предсказание того, сможет ли воздушное судно, попадая в зону сдвига, избежать аварии; по их мнению, количество переменных слишком велико, чтобы это оказалось возможным [I0]. Система испытывалась на имитаторах с использованием ряда частот, и было заметно, что реакция воздушного судна при длиннопериодической частоте была не столь выраженной, как предсказывалось теоретически; исследователи считают это явным свидетельством того, что используемые имитаторы были "передемпфированы" по длиннопериодической частоте, и такое положение согласно их заключению дает основание для проведения дальнейших исследований. Подобным же образом Фрост [I4] придерживается того мнения, что от доплеровской системы обнаружения и предупреждения не следует ожидать обеспечения высокой точности, требующейся в том случае, когда воздушному судну предстоит пройти через такой сдвиг ветра. Вместо этого следует исходить из того, чтобы присутствие любого сильного (горизонтального) сдвига ветра в достаточной степени направляло бы действия авиационной системы на предотвращение попадания воздушного судна в зону этого сдвига ветра.

6.4 Дальнейшие научные исследования

6.4.1 Если бы в соответствии с проектом JAWS был обеспечен доступ к внушительному комплексу датчиков и тому подобным средств (см. п. 3.5.4.2), не хватило бы эпитетов для описания очередного "совместного" эксперимента в атмосфере, проводимого в Соединенных Штатах Америки. Этот уникальный полевой эксперимент, местом проведения которого является северная часть штата Алабама, называется объединенным метеорологическим экспериментом в Хантсвилле (CONMEX), в рамках которого проводятся три самостоятельных, но взаимосвязанных

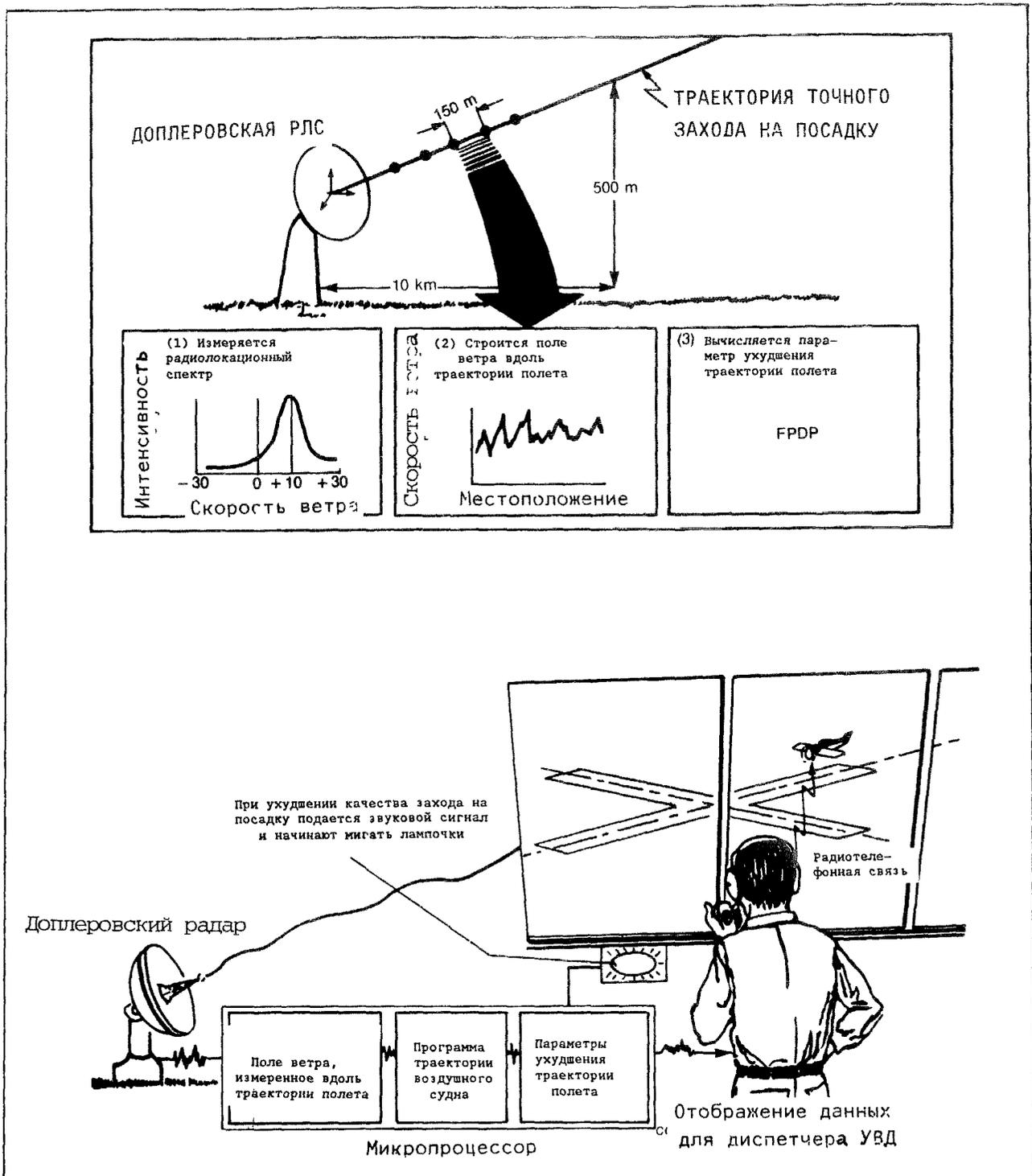


Рис. 6-2. Предлагаемая доплеровская радиолокационная/числовая модель системы обнаружения и предупреждения о сдвиге ветра на малых высотах (Тэркель, Кессель и Фрост, 1981)

эксперимента: эксперимент по исследованию осадков и облачности с использованием спутников (SPACE), эксперимент по исследованию микропорывов и сильных гроз (MIST) и оперативные метеорологические исследования, проводимые лабораториями Линкольна и ФАУ (FLOWS). Эти эксперименты соответственно финансируются НАСА, Национальным научным фондом и ФАУ с широким долевым участием в отношении ресурсов и данных.

6.4.2 Эксперимент SPACE будет в основном касаться атмосферных процессов, в частности, осадков до, в процессе и после развития конвективных образований. Целью его проведения является сбор подробных данных, которые могли бы позволить впоследствии смоделировать пограничный слой, термодинамические процессы в тропосфере и в облачности, а также цикл развития небольших конвективных систем. Планируется использование не менее 10 экспериментальных систем дистанционного обнаружения, включая два высотных воздушных судна, оборудованных комплексом специальной аппаратуры и приборов, для измерения видимого, инфракрасного и микроволнового излучения с целью определения штормовых характеристик, таких как структура верхней части облака, микрофизические свойства облака, осадки, для зондирования температуры и влажности в облаке и вне его, а также изучения характеристик облаков, требующих обеспечения высокой разрежающей способности.

6.4.3 Эксперимент MIST касается исследования трехмерной структуры микропорывов во "влажном" регионе Соединенных Штатов Америки. (Это обеспечит получение данных дополнительно к уже имеющимся обширным данным, собранным в ходе осуществления проекта JAWS (1982 г.) в "сухом" регионе Соединенных Штатов Америки.) Во время эксперимента будут использованы три доплеровские РЛС, 4I переносная автоматизированная мезосетевая (PAM) станция, которые будут разнесены с интервалом приблизительно в 2 км, и два исследовательских воздушных судна. Особой областью данного эксперимента будет исследование структуры и развития микропорыва с вращающимися вихрями.

6.4.4 Эксперимент FLOWS, проводимый ФАУ, будет касаться разработки и испытаний автоматических алгоритмов обнаружения сдвига ветра (особенно при микропорывах и фронтах порывов). Результаты проведения эксперимента FLOWS будут использоваться при разработке алгоритмов для метеорадиолокатора следующего поколения (NEXRAD, см. п.6.2.1.1) и аэродромной доплеровской РЛС ФАУ (TDR, см. п. 6.2.2.1). Главным датчиком для эксперимента FLOWS будет доплеровская РЛС, работающая в диапазоне S, функционально равноценная системе NEXRAD с определенными дополнительными характеристиками для обеспечения подавления помех, какие могут использоваться в TDR. Вспомогательные датчики для FLOWS включают доплеровскую РЛС, работающую в диапазоне C, два воздушных судна, оборудованные специальной аппаратурой и приборами, и 30 мезосетевых станций наблюдения ФАУ.

6.4.5 Во время проведения эксперимента COMEX в целях обеспечения максимального объема информации спутник NOAA GOES будет функционировать в режимах отображения и зондирования с задержкой срабатывания, а также в режиме быстрого сканирования. В дни работы в рамках эксперимента SPACE данные о результатах атмосферного зондирования (VAS), производимого с помощью визуально-инфракрасного радиометра спирального сканирования с высокой разрешающей способностью (VISSR), будут поступать каждые три часа, а в особых случаях с интервалом $1\frac{1}{2}$ часа. Кроме того, в комплекты данных COMEX будет включаться обычная информация, получаемая от полярноорбитальных спутников I57.

Глава 7

ПОДГОТОВКА ПЕРСОНАЛА

7.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

7.1.1 Хотя сдвиг ветра не является новым явлением в метеорологии и, разумеется, не представляет единственную опасность для авиации, часто возникает вопрос, почему сдвигу ветра уделяется столько внимания. Причин для этого по меньшей мере две. Во-первых, хотя сдвиг ветра существует столько же времени, сколько и сам ветер, только за последние годы наблюдается повышение уровня осознания его опасного воздействия на летные характеристики все возрастающего числа тяжелых реактивных транспортных воздушных судов. Во-вторых, в авиационных кругах по-видимому существует большая 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 мимолетным характером сдвига ветра. Одна из главных трудностей, стоящих 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 фактически 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. 7.7). Единственным способом противостоять путанице и ложным представлениям является соответствующая учебная подготовка.

7.1.2 Необходимость разработки учебной программы нельзя переоценить в свете обеспечения того, чтобы все, кто причастен к эксплуатации воздушных судов, были поставлены в известность об опасных и даже потенциально гибельных 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 и диспетчерам управления воздушным движением, 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, с уделением особого внимания воздействию сдвига ветра на полеты воздушных судов. И наконец, существенно важно, чтобы об опасности сдвига ветра знали бортпроводники.

7.1.3 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.

7.1.4 В добавлении А содержится перечень эксплуатационных требований. В п. 4.1 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.

7.2 ЦЕЛИ ПОДГОТОВКИ ЛЕТНЫХ ЭКИПАЖЕЙ

7.2.1 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 членов экипажа 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.

7.2.2 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; и
- d) выработка способности выполнять в кабине экипажа порядок действий (возможно, чрезвычайных), которые могут потребоваться при встрече со сдвигом ветра.

7.2.2.1 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.

7.3 НАЗЕМНАЯ ПОДГОТОВКА ЛЕТНЫХ ЭКИПАЖЕЙ

7.3.1 Наземная подготовка для первоначального получения свидетельства пилота-любителя и пилота коммерческой авиации должна преследовать цель ознакомления с опасными проявлениями сдвига ветра и включать первые две а) и б) – из описанных в п. 7.2.2 целей программы.

7.3.1.1 В Руководстве ИКАО по обучению (Doc 7192), часть В-5, содержатся подробные сведения о подготовке по вопросам сдвига ветра для получения свидетельства пилота коммерческой авиации. Соответствующие выдержки приведены в добавлении G к настоящему циркуляру.

7.3.2 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. Это означает, что особое внимание должно уделяться 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, и
- 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.

7.3.3 Имеется ряд аудиовизуальных учебных пособий, предоставляемых в помощь государствам и эксплуатантам при составлении программ подготовки по вопросам сдвига ветра. Подробные данные об этих пособиях приводятся в добавлении Н.

7.4 ЛЕТНАЯ ПОДГОТОВКА И ПОДГОТОВКА НА ТРЕНАЖЕРЕ

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

7.4.2 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, имеют место относительно 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 для 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. 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 для этих членов летного экипажа уметь распознавать условия, связанные с потенциальной возможностью появления сдвига ветра, и предпринимать все меры, чтобы избежать встречи с ними.

7.4.3 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. К сожалению, разработка реалистических трехмерных моделей конвективного сдвига ветра, например нисходящих порывов/микропорывов, представляющих наибольшую опасность, завершена лишь в последние годы, и вследствие этого лишь сравнительно немногие используемые в настоящее время пилотажные тренажеры обладают такой функциональной возможностью.

7.4.4 В Соединенных Штатах Америки в рамках плана ФАУ по усовершенствованию тренажерного моделирования разработаны инструктивные указания (см. Федеральные правила полета, часть I2I, добавление Н) в отношении методики подготовки летных экипажей на усовершенствованных пилотажных тренажерах. 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 грозовых нисходящих порывах/микропорывах как на номинальной траектории полета, так и вне ее [1], [2]. 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 AC I20-4I "Критерии допуска к эксплуатации бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра и указания о действиях в полете" (см. п.5.2.2.6).

7.4.5 Некоторые 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, см. п. 3.5.4.2), которая может быть запрограммирована таким образом, чтобы центр микропорыва находился на траектории полета или в стороне от нее. Эта конкретная модель была разработана Королевским научно-исследовательским авиационным институтом Соединенного Королевства; пример использования модели

микропорыва показан на рис. 3-16 а) 137, 147. 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 57.

7.4.6 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, издаваемые время от времени полномочными органами государств, такие как Консультативный циркуляр ФАУ АС 00-50А (1979) (см. п. 7 этого циркуляра). 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 Е. В силу того, что все правила основаны на одних и тех же аэродинамических принципах, ожидается, что при каждой комбинации "тип воздушного судна/двигатель" будет иметь место различная реакция на сдвиг ветра, и в зависимости от практики каждого эксплуатанта в отношении оборудования, кабина экипажа может быть по-разному оснащена приборами и оборудованием.

7.5 КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА ФАУ ПО СДВИГУ ВЕТРА (ПОДГОТОВКА ПЕРСОНАЛА)

7.5.1 В авиационных кругах проявляется озабоченность в отношении того, что наличие множества различных программ подготовки по вопросам сдвига ветра может отрицательно сказаться на продуктивности обучения и внести путаницу среди персонала, занимающегося эксплуатацией. Целью учебной программы ФАУ, которая была введена в начале 1987 года, является разработка с помощью изготовителей воздушных судов и эксплуатантов окончательного варианта "учебного пособия по сдвигу ветра", которое будет включать высказывания пилотов, 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.

7.6 ПОДГОТОВКА ПЕРСОНАЛА УВД

7.6.1 Диспетчер управления воздушным движением, как правило, является исключительно важным связующим звеном между метеорологом и пилотом и между самими пилотами в отношении 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.

7.6.2 В целях оказания помощи в разработке соответствующей учебной программы подготовка диспетчеров управления воздушным движением является темой части D-2 Руководства ИКАО по обучению (Doc 7192), а предлагаемый учебный план опубликован отдельно в части A-3 Руководства по обучению. В частности, в пункте 10.4.5 предусматривается, что предмет авиационной метеорологии включает изучение следующих вопросов:

"Приземный стер, порывы, сдвиг ветра и турбулентность на малых высотах, воздействие на выполнение посадок и взлетов, условия погоды, связанные со сдвигом ветра, и методы распознавания".

Рекомендуемый уровень необходимых знаний характеризуется как "... знание предмета и способность применять в соответствующих случаях это знание на практике".

7.6.3 Целями программы подготовки диспетчеров управления воздушным движением 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; и
- c) ознакомить с правилами передачи сообщений о сдвиге ветра и отработать применение этих правил на практике (см. раздел 7.8).

7.6.3.1 Подпункты а) и б), выше, охватывают преимущественно ту же область, которая включена в программу наземной подготовки летных экипажей. В силу этого имеющиеся материалы для подготовки летных экипажей могут использоваться и в целях подготовки диспетчеров. Кроме того, было бы полезно предоставлять иногда диспетчеру возможность присутствовать в качестве наблюдателя при учебных упражнениях членов летного экипажа при пилотажном тренажере, когда отрабатываются порядок действий в условиях сдвига ветра.

7.7 ПОДГОТОВКА МЕТЕОРОЛОГОВ

7.7.1 В соответствии с рабочим соглашением, достигнутым между ИКАО и Всемирной метеорологической организацией ВМО (см. документ ИКАО, Doc 7475), "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". Как следствие вышеуказанной договоренности, инструктивные указания по обучению и практической подготовке авиационных метеорологов разработан и включен в издание Всемирной метеорологической организации ВМО № 258, глава II 67.

7.7.2 В издании ВМО по вопросам обучения подробно представлены рекомендуемые программы специализации в области авиационной метеорологии для метеоролога I, II, III и IV классов. Программы подготовки метеорологов I и II классов в отношении приобретения знаний в области авиационной метеорологии одинаковы, в них содержится конкретная ссылка 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. Хотя в изданиях ВМО по вопросам обучения не используется "система градации" требуемого уровня знаний авиационной метеорологии, уровень или качество подготовки должны быть такими же, как и для получения свидетельств пилота. Разумеется, обучение метеорологов I и II классов 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, фронты воздушной массы, грозы и особенно сильные грозы и т.д.).

7.7.3 Для метеорологов III и IV классов рекомендуемый уровень знаний авиационной метеорологии ниже, чем для I и II классов, и в рекомендуемой для них программе специализации вопрос о сдвиге ветра и его воздействии на воздушные суда особо не упоминается. Однако общая информация о сдвиге ветра и явлениях, порождающих его, будет включена под рубрикой "Основы метеорологических знаний" в главы 6 и 7 издания ВМО по вопросам обучения [67].

7.7.4 ВМО также опубликовала компендиум лекционных конспектов для подготовки метеорологов всех классов (ВМО-№ 364); часть 2 тома II этого издания посвящена курсу авиационной метеорологии для персонала I и II классов. В соответствующих местах по всему тексту данного издания рассматриваются вопросы о сдвиге ветра на малых высотах.

7.8 АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ ПО ВОПРОСАМ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ О СДВИГЕ ВЕТРА

7.8.1 Помимо решающих успехов в области разработки рабочего оборудования дистанционного обнаружения сдвига ветра, исключительно важным шагом к решению проблемы сдвига ветра, который мог бы быть сделан в настоящее время, 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 циркуляре, явилось бы большим шагом вперед в направлении обеспечения всемирной стандартизации. Эти правила представляют собой компромисс в свете того неизбежного факта, что до сих пор на эксплуатационном уровне отсутствует оборудование, способное обнаруживать и измерять сдвиг ветра на траекториях захода на посадку и взлета. Когда такое оборудование появится в продаже, эти правила потребуются дополнить, с тем чтобы учесть возможности такого оборудования. Однако следует постоянно иметь в виду, что вследствие присущего сдвигу ветра капризного характера даже при появлении такого оборудования при подготовке персонала должна по-прежнему подчеркиваться необходимость проявления пилотами бдительности, особенно при полетах вблизи гроз или в других районах, где прогнозируется сдвиг ветра.

7.9 РЕЗЮМЕ

7.9.1 Сдвиг ветра существовал всегда, даже если мы его и не замечали. За последние годы мы все больше осознавали, какая потенциально смертельная опасность может быть связана с его особенностями. В то же время объем наших знаний о воздействии сдвига ветра возрастает, и имеющиеся в нашем распоряжении средства для его прогнозирования и противодействия ему все более совершенствуются. 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.

7.9.2 Из всего объема и накопленных до настоящего времени знаний и опыта выявляются следующие ключевые факторы:

- I. Следует избегать районов, в которых, как известно, присутствует сдвиг ветра.

-
2. Необходимо оценивать состояние погоды и окружающие условия.
 3. Следует применять и соблюдать стандартные правила эксплуатации (SOP_S).
 4. Требуется проявлять бдительность и принимать необходимые меры предосторожности при появлении высокой вероятности сдвига ветра.
 5. При непреднамеренной встрече со сдвигом ветра следует без колебаний предпринимать действия по восстановлению нормального положения.
 6. 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 и выполнить посадку на соответствующем запасном аэродроме.
-

Добавление А

Перечень эксплуатационных требований

1. Информация для пилота

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 оценки текущей метеорологической обстановки.

2. Наземное оборудование

2.1 Имеется эксплуатационное требование в отношении обеспечения наземного оборудования для получения следующей информации, которая предоставляется пилоту перед взлетом или начальным этапом захода на посадку:

- а) значительные изменения приземного ветра вдоль ВПП; и
- б) 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

3.1 Имеется эксплуатационное требование в отношении обеспечения бортового оборудования, способного обнаруживать присутствие значительного сдвига ветра и турбулентности на малых высотах (возникающих по любой причине) и будет:

- а) обеспечивать пилота своевременным предупреждением и информацией, необходимыми для безопасного выдерживания заданной траектории полета или выполнения маневра уклонения; и
- б) сигнализировать о близости достижения предельных значений, установленных при сертификации оборудования автоматической посадки, если таковое используется.

4. Учебная подготовка

4.1 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 В

Термины и их разъяснение

I. Разъяснения терминов, относящихся к сдвигу ветра

<u>Термин</u>	<u>Разъяснение</u>
Вертикальный сдвиг ветра	Изменение направления и/или скорости горизонтального ветра по мере изменения высоты, определяемое посредством двух или более анемометров, установленных на разных высотах на одной и той же мачте.
Воздействие бокового ветра*	Воздействие сдвига ветра, требующее быстрого изменения курса воздушного судна для выдерживания намеченной линии пути. <u>Примечание:</u> При описании воздействий сдвига ветра следует всегда уточнять траекторию полета воздушного судна. Это необходимо для проведения различия между видами воздействия сдвига ветра, которые будут иметь место в отношении разных направлений ВПП, и воздействия сдвига ветра при взлете и посадке.
Восходящие/нисходящие потоки*	Вертикальная составляющая ветра. <u>Примечание:</u> Наиболее опасными обычно являются восходящие и нисходящие потоки, связанные с грозами.
Горизонтальный сдвиг ветра	Изменение направления и/или скорости горизонтального ветра по мере измерения расстояния по горизонтали, определяемое посредством двух или более анемометров, установленных на одной и той же высоте вдоль ВПП.
Микропорыв	Сильный локализованный нисходящий поток, вызывающий в результате истечения воздушной массы внезапный ветер разрушительной силы на земле или вблизи нее с протяженностью от 0,4 до 4 км по горизонтали.
Нисходящий порыв	Сильный нисходящий поток, вызывающий в результате истечения воздушной массы ветер разрушительной силы на земле или вблизи нее.

* Термин, применяемый при использовании канала связи "воздух - земля".

Обратное воздействие сдвига ветра	<p>Воздействие сдвига ветра, в результате которого начальное воздействие на воздушное судно меняется на обратное по мере того, как воздушное судно продолжает полет по траектории полета.</p> <p><u>Примечание:</u> При обратном воздействии сдвига ветра его следует характеризовать, в зависимости от случая, либо как эффект перелета, сопровождаемый эффектом недолета, либо как эффект недолета, сопровождаемый эффектом перелета.</p>
Сдвиг ветра*	<p>Изменение направления и/или скорости ветра в пространстве, включая восходящие и нисходящие потоки.</p>
Сдвиг ветра на малых высотах	<p>Сдвиг ветра вдоль траектории конечного этапа захода на посадку или вдоль ВПП и траектории взлета и начального набора высоты.</p>
Турбулентность*	<p>Перемещения вихрей в атмосфере, являющиеся функцией как времени, так и пространства.</p>
Фронт порывов	<p>Передний край холодного воздуха от нисходящего из конвективного облака потока, который достигает уровня земли и распространяется во внешнюю сторону, подрезая окружающий более теплый воздух.</p>
Эффект недолета*	<p>Воздействие сдвига ветра, в результате которого воздушное судно летит ниже намеченной траектории полета и/или уменьшается приборная воздушная скорость.</p> <p><u>Примечание:</u> Эффект недолета может быть результатом попадания в зону ослабевающего встречного ветра, усиливающегося попутного ветра или зону нисходящего потока.</p>
Эффект перелета*	<p>Воздействие сдвига ветра, в результате которого воздушное судно летит выше намеченной траектории полета и/или повышается приборная воздушная скорость.</p> <p><u>Примечание:</u> Эффект перелета может быть результатом попадания в зону усиливающегося встречного ветра, ослабевающего попутного ветра или зону восходящего потока.</p>

* Термин, применяемый при использовании канала связи "воздух - земля".

2. Разъяснение прочих терминов, не относящихся непосредственно к сдвигу ветра

Геострофический ветер	Горизонтальный ветер с такой скоростью, при которой горизонтальная составляющая силы Кориолиса точно уравновешивает силу горизонтального барического градиента (см. ниже), в результате чего ветер дует параллельно изобарам.
Гравитационная волна	Волновое возмущение в жидкой среде, управляемыми силами которого являются гидростатическая выталкивающая сила и сила тяжести.
Изоэнтропийный анализ	Система анализа, основывающаяся на использовании карт, на которых представлены такие метеорологические переменные, как давление, влажность, ветер и т.п., наносимые на поверхность постоянной потенциальной температуры.
Мезомасштаб	Большинство явлений, порождающих сдвиг ветра, имеющий значение для авиации, происходят в мезомасштабе. Традиционно этот масштаб связывали с величинами порядка от 10 до 100 км. Фудзита (см. справочный материал 40 в конце главы 3) предложил с целью согласования с величинами последовательных масштабов, в основу которых положены измерения Земли, расширить его до величин от 0,4 до 400 км.
Прогноз на настоящее время	Описание текущих условий погоды и прогноз на предстоящий период, охватывающий до двух часов.
Сила горизонтального барического градиента	Горизонтальная составляющая силы, действующей на частицы воздуха в зависимости от изменения давления в пространстве. Сила действует в направлении, перпендикулярном к изобарам, от высокого к низкому давлению.
Сила Кориолиса	Инерционная сила, действующая на движущиеся частицы в системе неинерциальных координат. В метеорологии это понятие применяется к движению воздуха относительно вращающейся Земли. В северном (южном) полушарии эта инерционная сила действует вправо (влево), если смотреть вдоль направления движения. С целью учета отклонения из-за вращения земли должна быть введена инерционная сила. Эта сила названа по имени Гюстава-Гаспара Кориолиса, французского математика, впервые описавшего данное явление в 1835 году.
Спектральный анализ	Особый аспект анализа временного ряда, предусматривающий разбивку разложенной в ряд временной зависимости, например, формы волны, на ее составляющие частоты или частотный спектр.

Добавление С

Рекомендации Комитета по сдвигу ветра на малых высотах и его опасности для авиации Национальной академии наук Соединенных Штатов Америки (1983)

Рекомендации комитета 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 специфических рекомендаций отражает сложность проблем, связанных со сдвигом ветра на малых высотах.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1 Потребность в комплексной программе по сдвигу ветра

I.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.

I.2 Программа учебной подготовки по вопросам сдвига ветра

I.2.1 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.

I.2.2 ФАУ следует пересмотреть и обновить Консультативный циркуляр по сдвигу ветра (АС 00-50А), изданный в 1979 году, и Руководство по информации для авиаторов (АИМ), 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.

I.3 Связь между пилотом и диспетчером

I.3.1 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.

1.4 Разработка системы обнаружения сдвига ветра

1.4.1 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 ПРЕДСКАЗАНИЕ

2.1 Система оповещения о сдвиге ветра на малых высотах (LLWSAS)

2.1.1 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 предупреждений 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 года, 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.

2.2 Регистрация и анализ данных LLWSAS

2.2.1 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.

2.3 Использование имеющихся радиолокационных данных

2.3.1 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.

2.4 Метеорологическая РЛС следующего поколения (NEXRAD)

2.4.1 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 метеобстановки 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.

2.5 Метеорологическая РЛС для узловых диспетчерских районов

2.5.1 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.

2.6 Использование результатов наблюдения аэродромной метеорологической РЛС

2.6.1 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.

2.7 Бортовые датчики дистанционного обнаружения

2.7.1 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

3.1 Влияние сдвига ветра на летные характеристики

3.1.1 ФАУ следует организовать проведение под своей эгидой исследований на основе анализа и моделирования для определения:

- а) 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.

3.2 Правила летной эксплуатации воздушных судов

3.2.1 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.

3.3 Вспомогательные средства наведения и управления

3.3.1 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.

3.4 Стандартизация моделей сдвига ветра

3.4.1 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 прайвильные учреждения, изготовителей воздушных судов, коммерческих эксплуатантов и другие заинтересованные организации.

3.5 Сертификация бортовых систем

3.5.1 ФАУ следует обновить свои требования в отношении сертификации бортовых систем оповещения о сдвиге ветра, наведения в полете и автоматического управления.

3.6 Тренажерная подготовка с помощью имитаторов сдвига ветра

3.6.1 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

4.1 Влияние сильного дождя

4.1.1 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.

4.2 Исследование характера сдвига ветра на малых высотах

4.2.1 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.

4.2.2 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 D

Математический анализ влияния сдвига ветра на подъемную силу, воспроизводимый с любезного разрешения д-ра Т.Т. Фудзиты (Чикагский университет) из его книги "Нисходящий порыв", опубликованной в рамках Проекта спутниковых и мезометеорологических исследований (SMRR), проводимого в отделении геофизических наук Чикагского университета

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 , а 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. I, определяем сдвиг трех составляющих ветра u, v, w следующим образом:

$$\frac{\Delta u}{\Delta t} = \text{сдвиг встречного ветра} + \text{встречный ветер}; - \text{попутный ветер} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{сдвиг бокового ветра} + \text{справа}; - \text{слева} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta w}{\Delta t} = \text{сдвиг вертикального ветра} + \text{вверх}; - \text{вниз} \quad (5)$$

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. 1, можно выразить подъемную силу следующим образом:

$$F = \frac{1}{2} \rho A^2 C_L S, \tag{6}$$

где ρ - плотность воздуха, C_L - коэффициент подъемной силы и 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 приблизительно определить значение путевой скорости и угла атаки:

$$G \cong A + u \quad \text{или} \quad \frac{\partial G}{\partial u} = \frac{\partial A}{\partial u} + 1 \tag{7}$$

$$\alpha = \theta - \gamma + \frac{W}{G} \quad \text{или} \quad \frac{\partial \alpha}{\partial W} = \frac{\partial \theta}{\partial W} - \frac{\partial \gamma}{\partial W} + \frac{1}{G} \tag{8}$$

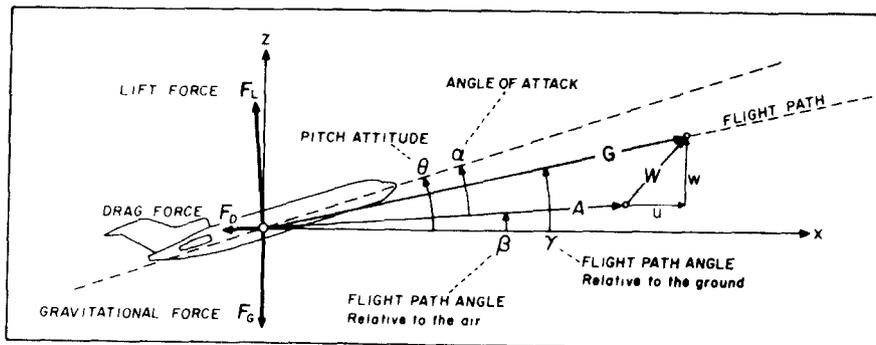


Рис. D-1 Обозначение параметров, использованных в настоящей главе. F_L - подъемная сила, F_G - сила тяжести, F_D - аэродинамическое сопротивление, α - угол атаки, β - угол траектории полета относительно воздушного потока, γ - угол траектории полета относительно земли, θ - угол тангажа, W - вектор ветра, u, v, w - составляющие вектора ветра по x, y, z , A - истинная воздушная скорость, G - путевая скорость.

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:

$$\frac{\Delta F_L}{F_L} = - \frac{2}{A} \Delta U + \frac{k}{G} \Delta w, \quad (10)$$

$$\text{где } k = \frac{1}{C_L} \frac{\partial C_L}{\partial \alpha} \quad (\text{радианы}) = \frac{180}{\pi C_L} \frac{\partial C_L}{\partial \alpha} \quad (\text{градусы}) \quad (11)$$

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.

На рис. 2 показана репрезентативная кривая коэффициента подъемной силы воздушного судна со стреловидным крылом во взлетной конфигурации с выпущенными закрылками. Значения в таблице I, 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!

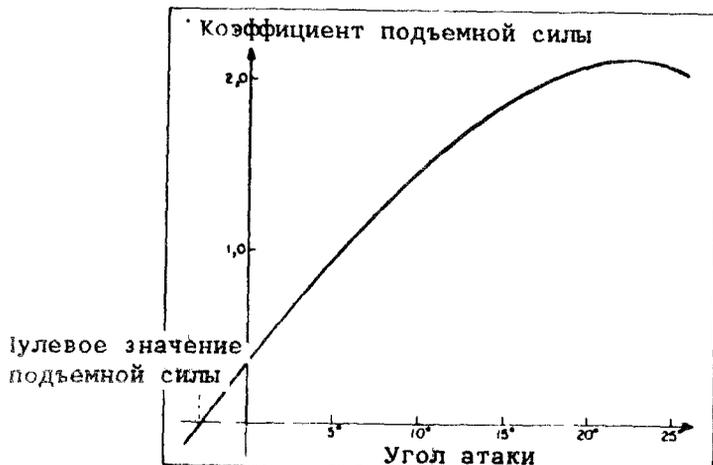


Рис. D-2 Коэффициент подъемной силы воздушного судна со стреловидным крылом при отклонениях на 15° закрылками и убранном шасси. Угол атаки берется по отношению к фюзеляжу. Угол атаки по отношению к крылу приблизительно на 2° больше, чем угол атаки по отношению к фюзеляжу.

Таблица D-1. Парциальное падение подъемной силы (в процентах) при последовательном увеличении скорости попутного ветра на один узел или при увеличении на один узел скорости нисходящего потока. Для простоты принимается, что $A = G = 150$ узл.

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

Добавление Е

Дополнительные правила для самолета "Боинг-737" –
Неблагоприятные условия погоды
Выдержка из Руководства по летной эксплуатации самолета "Боинг-737"
(1985)

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 узл. или вертикальной скорости более чем на 500 фут в минуту.

Уклонение от встречи

Летному экипажу следует стремиться к обнаружению любых признаков присутствия сдвига ветра вдоль намеченной траектории полета. Необходимо держаться в стороне от грозных 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 в готовности 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 футов 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) максимум до 20 узл.
- Избегайте значительного уменьшения тяги или изменения положения триммера в ответ на внезапное возрастание воздушной скорости, так как за ним может последовать падение воздушной скорости.
- Проверяйте указания командного пипотажного 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.

Восстановление нормального положения

Крутой переход на кабрирование/уклонение от столкновения с землей

Такой маневр выполняется немедленно при появлении угрозы столкновения с землей. Условиями, отражающими потенциальную возможность столкновения с землей, считаются следующие:

- включение предупреждающего сигнала "взять ручку на себя!";
- на высоте менее 500 футов над уровнем земли - непреднамеренная встреча со сдвигом ветра или другие ситуации, в результате чего происходят не связанные с управлением отклонения от условий нормального устойчивого полета, превышающие следующие значения:
 - приборная воздушная скорость 15 узлов;
 - вертикальная скорость 500 фут/мин;
 - угол тангажа 5 градусов;
 - отклонение от глиссады на одно деление.

Примечание. Если предупреждающий сигнал "взять ручку на себя!" включается при полете в дневное время по ПВП и при этом визуальным способом позитивно установлено отсутствие опасности, заход на посадку может быть продолжен.

Эволюции для восстановления нормального положения

Одновременно: увеличьте тягу до максимальной, отключите автопилот и автомат тяги (если они установлены), и увеличьте угол тангажа, чтобы избежать столкновения с землей.

Увеличивайте угол тангажа плавно и с нормальной угловой скоростью, вначале до 15 градусов. Не пользуйтесь указаниями командного пилотажного прибора.

Углы тангажа более 15 градусов могут потребоваться для прекращения подачи предупреждающего сигнала "взять ручку на себя!" и/или для того, чтобы избежать столкновения с землей.

Примечание. Во всех случаях угол тангажа, вызывающий прерывистую вибрацию ручки управления или начальную стадию тряски (бафтинга), является верхним пределом угла тангажа (он может быть и менее 15 градусов в условиях очень сильного сдвига ветра).

Большое увеличение тяги может повлечь за собой проявление тенденции к кэб-рированию, требующего усилия при отклонении колонки штурвала от себя и применения триммера.

Следите за вертикальной скоростью и высотой. Не пытайтесь изменить положение закрылков или шасси или восполнить потерю скорости до тех пор, пока не минует угроза столкновения с землей.

Добавление F

I. 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_{I0} = приземный (10 метров) ветер (вектор)

$V_{I0} = |V_{I0}|$ = скорость приземного ветра (скалярная)

V_G = градиентный (600 м или 2000 футов) ветер (вектор)

$V_G = |V_G|$ = скорость градиентного ветра (скалярная)

(а) Зимние эксперименты

Предупреждение должно передаваться на основе соблюдения любого из нижеприведенных критериев:

- 1) $V_{I0} \geq 30$ узл.
- 2) $V_{I0} \geq 10$ узл. и $V_G - 2V_{I0} \geq 25$ узл.
- 3) $V_{I0} < 10$ узл. и $|V_G - V_{I0}| \geq 40$ узл.
- 4) $V_{I0} < 10$ узл. и $|V_G - V_{I0}| \geq 30$ узл.

и ниже 600 м присутствует изотермический или инверсионный слой

- 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 узл. (отмечается либо на месте, либо на соседнем пункте измерения при прохождении фронта)

или б) разности температур поперек зоны по меньшей мере 5 градусов C

или с) скорости по меньшей мере 30 узл.

- 7) На высоте 600 м или ниже предполагается значительное СТРУЙНОЕ ТЕЧЕНИЕ НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ (отдельные правила содержатся в добавлении С)
- 8) в течение предшествующего часа получено ДОНЕСЕНИЕ (ДОНЕСЕНИЯ) С БОРТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ о сдвиге ветра на малых высотах.

(b) Летние эксперименты

Следует выдавать Предупреждение - должно передаваться на основе соблюдения любого из нижеприведенных критериев:

- 1) $V_{10} \geq 30$ узл.
- 2) Критерий зимних опытов, не используемый во время летних опытов
- 3) $|V_G - V_{10}| \geq 40$ узл.
- 4) $|V_G - V_{10}| \geq 30$ узл. и ниже 600 м присутствует изотермический или инверсионный слой
- 5) имеют место
- | | | |
|---|---|---|
| <p>а) ГРОЗА (ГРОЗЫ) на расстоянии в пределах 10 км</p> <p>б) КУЧЕВО-ДОЖДЕВАЯ ОБЛАЧНОСТЬ в пределах 5 км</p> | } | <p>с составляющей движения в</p> <p>в направлении места измерения</p> |
|---|---|---|
- 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 узл., отмечающемся либо на месте, либо при прохождении через близлежащее место измерения
- или б) разности температур поперек поверхности по меньшей мере 5 градусов С
- или с) скорости по меньшей мере 30 узл.
- 7) на высоте 600 м или ниже предполагается значительное СТРУЙНОЕ ТЕЧЕНИЕ НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ (эти критерии не менялись по сравнению с зимними опытами)
- 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 I-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 часа) - (восход солнца + 1 час)
- 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) $V_{I0} < 10$ узл. и $V_{I0} (\text{макс}) \geq 10$ узл.
- 4) $V_G \geq 10$ узл. и $V_G (\text{заход солнца}) \geq 10$ узл.
- 5) С 1200 СГВ никакие приземные фронты не проходили.

Примечания

- 1) $V_{I0} (\text{макс})$ и $T_a T_a (\text{макс})$ - максимальные сообщенные значения V_{I0} и $T_a T_a$ за время с 1300 по 1800 СГВ включительно (предыдущего дня).
- 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 год) служба оповещения о сдвиге ветра в Лондонском аэропорту Хитроу и Белфастском аэропорту Алдергроув (HWAS)
Выдержка из раздела MET-07 АИП Соединенного Королевства

6.8.2.1 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 узл.;
- b) величина разности векторов между средним приземным ветром и градиентным ветром (расчетное значение ветра на высоте 2000 фут) не менее 40 узл.; и
- c) наличие грозы (гроз) или ливневых дождей в пределах около 5 мор.миль от аэропорта.

Примечание. Экстренные оповещения передаются также на основе недавних донесений пилотов о сдвиге ветра при заходе на посадку или начальном наборе высоты.

6.8.2.2 Экстренное оповещение включается в передачи ATIS в аэропорту Хитроу и передается радиотелефоном для прибывающих и вылетающих воздушных судов в аэропорту Алдергроув в одном из трех форматов:

- а) "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).
- б) "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.
- в) "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.

6.8.2.3 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 ЩФЕ во время конечного этапа захода на посадку, потребовалась максимальная тяга, самолет "В-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 G

Выдержка из Руководства ИКАО по обучению, часть В-5, том 2,
Методические разработки для инструктора

Часть В-5 из серийного издания Руководства ИКАО по обучению, Дос 7192, содержит подробные сведения о сводном курсе летной и наземной подготовки. Целью этого курса является подготовка пилотов, которые смогут работать в качестве вторых пилотов на воздушных судах авиакомпаний или командиров воздушного судна или вторых пилотов на других воздушных судах коммерческой авиации после соответствующей дополнительной подготовки для экипажей и получения квалификационной отметки на право управления воздушным судном конкретного типа. Курс составлен в виде сквозной начальной учебной программы для лиц, не имеющих предварительной летной практики. При выпуске курсант получает квалификацию в соответствии с требованиями Приложения I к Конвенции о международной гражданской авиации относительно выдачи:

- a) свидетельства пилота коммерческой авиации (CPL) - самолет;
- b) с квалификационной отметкой на право полетов по приборам; и
- c) квалификационной отметкой по классу сухопутных многодвигательных воздушных судов (MEL).

При прохождении подготовки проблемы, связанные со сдвигом ветра и турбулентностью на малых высотах, вводятся в учебную программу таким образом, чтобы научить курсанта понимать и оценивать причины, признаки и воздействие этих явлений. Ниже следуют выдержки из соответствующих частей руководства по обучению:

Групповой инструктаж (GRB) I5

Безопасность летной эксплуатации легких самолетов

* Сдвиг ветра

- обстоятельства, при которых может ожидаться сдвиг ветра
- влияние внезапного изменения скорости/направления ветра на воздушную скорость/траекторию полета воздушного судна
- опасность, возникающая вблизи гроз
- фронты порывов

Метеорология (ME) I2

ГРОЗЫ

Опасность при взлете и на посадке

- * Сдвиг ветра
- * Сильные порывы и быстрое изменение направления ветра
- * Восходящие и нисходящие потоки воздуха и вертикальный сдвиг ветра
- * Интенсивные осадки
- * Фронты порывов

Метеорология (МЕ) 20СДВИГ ВЕТРА НА МАЛЫХ ВЫСОТАХПричины и признаки

- * Фронтальный сдвиг
 - быстро движущиеся фронты
 - сдвиг по направлению и скорости
 - длительность обычно менее двух часов
- * Грозы, фронты порывов
 - нисходящие потоки воздуха достигают земли и расходятся в стороны
 - фронты порывов могут простираяться до 20 км впереди грозы
 - скорость ветра возрастает на величину до 50% с высотой от поверхности до 1500 фут над уровнем земли
 - сдвиг по направлению в диапазоне 90-180° не является необычным
- * Влияние местности
 - "эффект воронки" при прохождении больших объемов воздуха через узкое пространство, такое как каньон
 - движение воздуха ускоряется, достигая больших скоростей, и это может приводить к сильному сдвигу по скорости
- * Признаки
 - обычные признаки прохождения фронта, такие как быстрое изменение температуры, изменение направления ветра, быстрое изменение давления
 - колебание показаний таких приборов воздушного судна, как указатель воздушной скорости, вариометр
 - наличие гроз, пылевых облаков
 - потребность в необычных режимах тяги во время захода на посадку

Критические условия

- * Сдвиг ветра при взлете и начальном наборе высоты
- * Сдвиг ветра при заходе на посадку и посадке

Влияние быстрого изменения составляющих ветра

- * Резкое уменьшение встречной составляющей ветра
 - * Резкое увеличение встречной составляющей ветра
 - * Внезапное изменение ветра на попутный
-

Добавление Н

Предлагаемые ИКАО аудио-визуальные учебные пособия

В целях оказания помощи государствам и эксплуатантам при разработке ими различных программ подготовки ИКАО располагает большим набором аудио-визуальных учебных пособий, которые можно приобрести за соответствующую плату. Среди этих пособий - плакаты, диапозитивы и фильмы, некоторые из которых изготовлены в ИКАО, а другие переданы ИКАО Договаривающимися государствами вместе с правом на перепечатку в соответствии с программой предоставления необходимых прав. Что касается сдвига ветра, на эту тему имеется один плакат (P62I). В нем обращается внимание на особую опасность связанных с грозами фронтов порывов. В настоящее время находится в стадии подготовки другой плакат, где представлены нисходящие порывы/микропорывы. Описание гроз дается в фильме из двух частей (F64 и F67), и имеются два фильма о сдвиге ветра под названиями "Вероятная причина" (F645) и "Фактор сдвига ветра" (F647). Эти аудио-визуальные пособия специально предназначаются для лиц, проходящих курс обучения. Следует отметить, что все фильмы представлены в видеоформате. Полные сведения обо всех фильмах, плакатах и аудио-диапозитивных пособиях содержатся в каталоге аудио-визуальных учебных пособий ИКАО. Заявки на экземпляры этого каталога или заказ на какое-либо аудио-визуальное пособие следует направлять по адресу:

International Civil Aviation Organization
(Attention: Document Sales Unit)
1000 Sherbrooke Street West
Montreal, Quebec
H3A 2R2

Библиография

- Fujita - The Downburst, SMRP Research Paper No. 210, 1985, Library of Congress No. 85-50115.
- 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.
- Petterson - 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, DC, 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.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Report by the United States National Academy of Sciences Committee on low altitude wind shear and its hazard to aviation, National Academy Press, Washington, DC, Library of Congress No. 83-63100.
2. Доклад восьмой Аэронавигационной конференции, Монреаль, 1974, ИКАО, Doc 9101, AN-CONF/8.

ГЛАВА 2

1. Melvin - The dynamic effect of wind shear, Flight Safety Foundation, November/December 1975.
2. Carter - Aerospace Safety, February 1977.
3. Jaspersen - The limiting accuracy of wind profiles obtained by tracking rising balloons, Journal of Applied Meteorology, June 1982.
4. WMO Compendium of lecture notes - Determination of upper winds at specified levels, WMO No. 291, 1971.

ГЛАВА 3

1. Stewart - The atmospheric boundary layer, third IMO lecture, WMO No. 523, 1979.
2. WMO Technical Note No. 93 - Vertical wind shear in the lower layers of the atmosphere, 1969.
3. Ellis and Keenan - Development of wind shear models and determination of wind shear hazards, FAA Report No. FAA-RD-79-119, January 1978.
4. André and Mahot - The nocturnal surface inversion and influence of clear air radiative cooling, Journal of the Atmospheric Sciences, April 1982.
5. Heald and Mahot - The dependence of boundary layer shear on diurnal variation of stability, Journal of the Atmospheric Sciences, August 1981.
6. Abele - Diurnal variability of wind velocity increase with height, Los Alamos National Laboratory Research Paper No. LA-9601-MS, December 1982.
7. Pettersson - Weather analysis and forecasting, Volume 1, 2nd Edition, McGraw Hill, 1956.
8. Joffre - Power laws and the empirical representation of speed and directional shears, Journal of Applied Meteorology, August 1984.
9. Brooks - Preliminary study of wind shear in the boundary layer at Melbourne Airport, Meteorology Study No. 19, Australian Bureau of Meteorology, 1970.
10. Saissac et al - Etude dynamique de la couche 0-100 m, Monographie No. 81 de la Meteorologie Nationale, France, 1971.
11. McKinley - Evaluating wind flow around buildings on heliport placement, FAA Report N85-21881, October 1984.
12. Morrison - Refresher course, wind shear, Canadian Aviation, September 1982.
13. Bedard and Lefebvre - Downslope windstorms and negative buoyancy forces, preprint volume, 13th Conference on Severe Local Storms, Tulsa, October 1983, American Meteorological Society.
14. Alaka - Aviation aspects of mountain waves - WMO Technical Note No. 18, 1958.
15. Zipser and Bedard - Front range windstorms revisited, Weatherwise, United States, April 1982.
16. Smith, Crook and Roff - The morning glory: An extraordinary undular bore, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, October 1982.
17. Smith and Goodfield - The 1979 morning glory expedition, Weather, London, May 1981.

18. Christie and Muirhead - Solitary waves and low altitude wind shear in Australia, Aviation Safety Digest No. 123/3.
19. Christie and Muirhead - Solitary waves: A hazard to aircraft operating at low altitudes, Australian Meteorological Magazine, June 1983.
20. Richwien and McLeod - Low level frontal wind shear forecast test, FAA Report No. FAA-RD-77-184, 1978.
21. Badner - Low level wind shear: A critical review, NOAA Technical Memorandum No. NWS FCST-23, 1979.
22. Wei-Kuo Tao and Simpson - Cloud interactions and merging: Numerical simulations, Journal of the Atmospheric Sciences, October 1984.
23. Byers and Braham - The thunderstorm, United States Government Printing Office, 1949.
24. Weisman - An eye to the clouds, Weatherwise, United States, October 1983.
25. Peterson - A triple Doppler radar analysis of a discretely propagating multicell convective storm, Journal of the Atmospheric Sciences, October 1984.
26. Rotunno and Klemp - On the rotation and propagation of simulated supercell thunderstorms, Journal of the Atmospheric Sciences, February 1985.
27. Davies-Jones - The origin of updraft rotation in supercell storms, Journal of the Atmospheric Sciences, October 1984.
28. Srivastava - A simple model of evaporatively driven downdraft: Application to microburst, Journal of the Atmospheric Sciences, May 1985.
29. Seitter - Numerical simulation of thunderstorm gust fronts, United States Air Force Geophysics Laboratory, Environmental Research Paper No. 862, December 1983.
30. Moncrieff - Comments on nor-wester thunderstorm structure, Weather, London, January 1986.
31. Joseph, Raipal and Deka - Andhi, the convective dust storm of northwest India, Mausam Volume 31, Indian Meteorological Department, 1980.
32. Zrnica and Lee - Investigation of the detectability and lifetime of gust fronts and other hazards to aviation, FAA Report No. FAA/PM-83/33, 1983.
33. Fujita - Spearhead echo and downburst near the approach end of JFK Airport runway, New York City, University of Chicago, SMRP Research Paper No. 137, March 1976.
34. Wolfson - Doppler radar observations of an Oklahoma downburst, preprint volume, 21st Conference on Radar Meteorology, Edmonton, September 1983, American Meteorological Society.
35. Fujita - Manual of downburst identification for Project NIMROD, University of Chicago, SMRP Research Paper No. 156, May 1978.

36. McCarthy and Wilson - The Joint Airport Studies (JAWS) Project, Bulletin of the American Meteorological Society, January 1982.
37. Fujita and Wakimoto - Microburst in JAWS depicted by Doppler radars, PAM and aerial photographs, preprint volume, 21st Conference on Radar Meteorology, Edmonton, September 1983, American Meteorological Society.
38. Wilson and Roberts - Evaluation of Doppler radar for airport wind shear detection, preprint volume, 21st Conference on Radar Meteorology, Edmonton, September 1983, American Meteorological Society.
39. Woodfield and Vaughan - Airspeed and wind measurements with an airborne CO₂ CW laser, Royal Aircraft Establishment Technical Memorandum, 1983.
40. Fujita and Smith from Fujita's "The Downburst" SMRP Research Paper No. 210, University of Chicago, 1985.
41. Wilson, Roberts, Kessinger and McCarthy - Microburst wind structure and evaluation of Doppler radar for airport wind shear detection, Journal of Climate and Applied Meteorology, June 1984.
42. McCarthy and Wilson - The CLAWS project, preprint volume, 2nd International Conference on the Aviation Weather System, Montreal 1985, American Meteorological Society.
43. Stevenson - The Stapleton microburst advisory service project: The operational viewpoint, United States Department of Transportation, Report No. DOT/FAA/PM-85/21, September 1985.
44. Fujita - Tornadoes and downdrafts in the context of generalized planetary scales, Journal of the Atmospheric Sciences, August 1981.
45. Snow - The tornado, Scientific American, April 1984.
46. Snow and Pauley - On the thermodynamic method for estimating maximum tornado wind speeds, Journal of Climate and Applied Meteorology, October 1984.
47. Wolde-Tinsae, Porter and McKeown - Windspeed analysis of tornadoes based on structural damage, Journal of Climate and Applied Meteorology, July 1985.
48. Simpson et al - Observations and mechanisms of GATE waterspouts, Journal of the Atmospheric Sciences, April 1986.
49. Browning and Foote - Airflow and hail growth in supercell storms, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, London, July 1976.
50. Thorpe - Thunderstorm dynamics: A challenge to the physicist, Weather, London, April 1981.
51. Ellrod - Indicators of high altitude non-convective turbulence observed in satellite images, preprint volume, 2nd International Conference on the Aviation Weather System, Montreal 1985, American Meteorological Society.

52. World distribution of thunderstorm days, Part 2, WMO Publications No. 21, 1956.
53. Court and Griffiths - Thunderstorm Climatology, Volume 2, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Department of Commerce, 1982.
54. Easterling and Robinson - The diurnal variation of thunderstorm activity in the United States, Journal of Climate and Applied Meteorology, October 1985.
55. McCarthy and Wilson - The microburst as a hazard to aviation, 2nd International Nowcasting Symposium, Norrkoping, Sweden, 1984.
56. Grazulis and Abbey - 103 years of violent tornadoes, 13th Conference on Severe Local Storms, Tulsa, 1983.
57. Woodfield and Woods - World-wide experience of wind shear during 1981-82, Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD), Conference Proceedings No. 347, 1984.
58. Haverdings - 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, March 1980.
59. Haverdings - AIDS-derived wind shear statistics for approach and landing, Netherlands National Aerospace Laboratory Report NLR TR 81066L, May 1981.
60. Haverdings - Wind shear investigation programme at the NLR (in Dutch, English summary), Netherlands National Aerospace Laboratory Report NLR MP 84027 U, March 1984.
61. Krauspe - Wind shear measurement on board an airliner, NASA Technical Memorandum NASA TM-77463, May 1984.
62. United States Federal Aviation Administration, General Aviation News, May/June 1981.
63. Woodfield - Wind shear and wake vortex research in the United Kingdom (1982), NASA Report CP-2274, April 1983.
64. Luers and Haines - The effect of heavy rain on wind shear attributed accidents, American Institute of Aeronautics and Astronautics, St. Louis, January 1981.
65. Flight Safety Foundation, September 1985 and the United States National Transport Safety Board Report No. NTSB-AAR-78-3 (1978).
66. Bennets, McCallum and Grant - Cumulonimbus clouds: an introductory review, The Meteorological Magazine, Meteorological Office, London, No. 115, 1986.
67. Vasiloff, Brandes and Davies-Jones - An investigation of the transition from multicell to supercell storms, Journal of Climate and Applied Meteorology, July 1986.

ГЛАВА 4

1. Manningham - Staying current, a proficiency guide for serious pilots, Ziff-Davis Publishing Co., New York, 1980.
2. Torosian - Wind shear, a pilot's point of view, McDonnell Douglas Corp., 1986.
3. FAA Wind Shear Training Aid, Volume II, Substantiating Data, 1987.
4. Morrison - Wind shear refresher course, Canadian Aviation, 1982.
5. Fredrickson - Wind shear, an update, Shell Aviation News, 1977.
6. Kermode - Mechanics of flight, Pitman Publishing (London, New York and Toronto), 1972.
7. Woodfield - Private communication.
8. Melvin - What you don't know about wind shear can kill you, Flight Crew, Summer 1980.
9. Carter - Some comments on wind shear, Aerospace Safety, February 1977.
10. Krauspe - Contributions on the subject of longitudinal movement of aircraft in wind shears, NASA Technical Memorandum NASA TM-77837, June 1985.
11. Roach and Findlater - An aircraft encounter with a tornado, The Meteorological Magazine, Meteorological Office, London, February 1983.
12. FAA Wind Shear Training Aid, Volume I, Pilot Wind Shear Guide, 1987.

ГЛАВА 5

1. Zeltmann - The crash of C-GTLA, preprint volume, 2nd International Conference on the Aviation Weather System, Montreal 1985, American Meteorological Society.
2. Kingswell - Observations of a quasi-circular squall line off north-west Australia, Weather, November 1984.
3. Goff - Low level wind shear alert system (LLWSAS), United States Federal Aviation Administration, Report No. FAA-RD-80-45, May 1980.
4. Turesson and Dahlquist - Use of SODAR and mini-SODAR in aviation for wind shear warnings and short-term forecasting, 3rd WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation, Ottawa, 1985.
5. Fage and Huguet - Wind shear detection using Doppler acoustic sounder (SODAR), preprint volume, 2nd International Conference on the Aviation Weather System, Montreal 1985, American Meteorological Society.
6. Singal, Aggarwal and Gera - Studies of correlation between SODAR, observed stratified layer structures and wind shear, Mausam, Volume 33, 1982, Indian Meteorological Department.
7. Motallebi - Doppler radar observation of the evolution of downdrafts in convective cloud, NASA Atmospheric Sciences Paper No. 35, 1982.
8. Clift - Use of radar in meteorology, WMO Technical Note No. 181, 1985.
9. Koepp, Schwiesow and Werner - Remote measurements of boundary layer wind using CW Doppler lidar, Journal of Climate and Applied Meteorology, January 1984.
10. Woodfield - Wind shear and wake vortex research in the United Kingdom (1982), NASA Report CP-2274, April 1983.
11. Doviak et al, Analysis of airborne Doppler lidar, Doppler radar and tall tower measurements of atmospheric flows in quiescent and stormy weather, NASA Contractor Report No. 3960, February 1986.
12. Emmitt - Convective storm downdraft outflows detected by NASA/MSFC airborne 10.6 μm pulsed Doppler lidar system, NASA Contractor Report No. 3898, July 1985.
13. Trotter, Strauch and Frush - Evaluation of meteorological airborne pulsed Doppler radar, NOAA Technical Memorandum ERL WMPO-45, 1981.
14. Jorgensen, Hildebrand and Frush - Feasibility test of an airborne pulsed Doppler radar, Journal of Climate and Applied Meteorology, May 1983.
15. Ray, Jorgensen and Wang - Airborne Doppler radar observations of a convective storm, Journal of Climate and Applied Meteorology, July 1985.
16. Steenblik - The Caret, the worm and the flat-footed duck, Airline Pilot Magazine, March 1984.

17. Badner - Low level wind shear: A critical review, NOAA Technical Memorandum NWS FCST-231, 1979.
18. Woodfield and Woods - World-wide experience of wind shear during 1981-82, Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD), Conference Proceedings No. 347, 1984.
19. FAA Advisory Circular AC-120-41, 11 July 1983 - Criteria for approval of airborne wind shear alerting and flight guidance systems.
20. Report by the United States National Academy of Sciences Committee on low altitude wind shear and its hazard to aviation, National Academy Press, Washington, DC, Library of Congress No. 83-63100.
21. Richwien and Mcleod - Low level frontal wind shear forecast test, FAA Report No. FAA-RD-77-184, 1978.
22. Zipser and Bedard - Front range wind storms revisited, Weatherwise, United States, April 1982.
23. Brook - Preliminary study of wind shear in the boundary layer at Melbourne Airport, Meteorological Study No. 19, Australian Bureau of Meteorology, 1970.
24. Wales-Smith - Physical modelling of surface wind flow over Cyprus, Meteorological Magazine, London, June 1984.
25. Fox - Climate of Seychelles, Seychelles Government Publications, Directorate of Civil Aviation, Seychelles, 1979.
26. Smith - On severe downslope winds, Journal of the Atmospheric Sciences, December 1985.
27. Harrison - The mountain wave, NASA report No. CR-315, 1965.
28. Hopkins - Forecasting techniques of clear air turbulence including that associated with mountain waves, WMO Technical Note No. 155, 1977.
29. Nicholls - The airflow over mountains, WMO Technical Note No. 127, 1973.
30. Dawe - A study of the katabatic wind at Brügggen on 27 February 1975, Meteorological Magazine, London, January 1982.
31. André and Mahot - The nocturnal surface inversion and influence of radiative cooling, Journal of the Atmospheric Sciences, April 1982.
32. Abele - Diurnal variability of wind velocity increase with height, Los Alamos National Laboratory Research Paper No. LA-9601-MS, December 1982.
33. Browning (Ed) - Nowcasting, Academic Press Inc. (London) Ltd., 1982.
34. Report of the Eighth Session of the WMO Commission for Basic Systems, Geneva, 1983.

35. Smith, Wade and Woolf - Combined atmospheric sounding/cloud imagery: A new forecasting tool, Bulletin of the American Meteorological Society, February 1985.
36. George - Weather forecasting for aeronautics, Academic Press, New York, 1960.
37. Bond, Browning and Collier - Estimates of surface gust speeds using radar observations of showers, Meteorological Magazine, London, February 1981.
38. Zrnica and Lee - Investigation of the detectability and lifetime of gust fronts and other hazards to aviation, FAA Report No. FAA/PM-83/33, 1983.
39. Fujita - Manual of downburst identification for Project NIMROD, SMRP Research Paper No. 156, University of Chicago, May 1978.
40. Fujita - Spearhead echo and downburst near the approach end of JFK Airport runway, New York City, University of Chicago, SMRP Research Paper No. 137, March 1976.
41. Green and Parker - Application of satellite and radar data to severe thunderstorm analysis, preprint volume, 13th Conference on Severe Local Storms, Tulsa, October 1983, American Meteorological Society.
42. Przybylinski and Gery - The reliability of the bow echo as an important severe weather signature, preprint volume, 13th Conference on Severe Local Storms, Tulsa, October 1983, American Meteorological Society.
43. Klemp and Weisman - The dependence of convective precipitation patterns on vertical wind shear, preprint volume, 21st Conference on Radar Meteorology, Edmonton, September 1983, American Meteorological Society.
44. Weisman, Weatherwise, October 1983.
45. Woodfield and Woods - Wind shear from head wind measurements on British Airways B747-236 aircraft, Royal Aircraft Establishment Technical Memorandum No. FS409, June 1981.
46. Korhonen - An operational wind shear and inversion warning system for Helsinki-Vantaa Airport, Finnish Meteorological Institute Research Papers, 1981.
47. Bell and Tsui - A low level wind shear detection system, Weather, London, February 1981.
48. Swolinsky - Wind shear models for aircraft hazard investigation, 2nd International Symposium on Aviation Safety, Toulouse, France, 18 to 21 November 1986.
49. Elmore - Evolution of a microburst and bow-shaped echo during JAWS, preprint volume, 23rd Conference on Radar Meteorology, Colorado, September 1986, American Meteorology Society.
50. Roberts and Wilson - Nowcasting microburst events using single-Doppler radar data, preprint volume, 23rd Conference on Radar Meteorology, Colorado, September 1986, American Meteorological Society.
51. Kessinger, Roberts and Elmore - A summary of microburst characteristics from low-reflectivity storms, preprint volume, 23rd Conference on Radar Meteorology, Colorado, September 1986, American Meteorology Society.

ГЛАВА 6

1. Melvin - Flying through microbursts, Airline Pilot, March 1986.
2. Evans - Weather radar studies, United States Federal Aviation Administration, Report No. DOT/FAA-PM - 85-09, 1985.
3. Wieler - Real-time automated detection of meso-cyclones and tornado vortex signatures - United States Air Force Geophysics Laboratory Scientific Report No. 6, October 1984.
4. Uyeda and Zrnic - Automatic detection of gust fronts, United States National Severe Storms Laboratory, Report No. DOT/FAA-PM - 85-11, April 1985.
5. Harris and Petrocchi - Automated cell detection as a meso-cyclone precursor tool, United States Air Force Geophysics Laboratory Environmental Research Paper No. 691, October 1984.
6. Wilson and Roberts - Evaluation of Doppler radar for airport wind shear detection, preprint volume, 21st Conference on Radar Meteorology, Edmonton, 1983, American Meteorological Society.
7. Little - Ground-based remote sensing for meteorological nowcasting, Nowcasting, Academic Press Inc. (London) Ltd., 1982.
8. Spencer and Howland - Severe storm identification with satellite microwave radiometry, United States National Technical Information Service NTIS Report No. N86-15821, 1986.
9. Browning and Collier - An integrated radar-satellite nowcasting system in the United Kingdom, Nowcasting, Academic Press Inc. (London) Ltd., 1982.
10. McCarthy and Vern Norviel - Numerical and flight simulation test of the flight deterioration concept, NASA Contractor Report No. 3500, 1982.
11. Frost - Flight in low level wind shear, NASA Contractor Report No. 3678, March 1983.
12. McCarthy, Brick and Elmore - An airport wind shear detection and warning system using Doppler radar - a feasibility study, NASA Contractor Report No. 3379, January 1981.
13. Turkel, Kessel and Frost - Feasibility study of a procedure to detect and warn of low level wind shear, NASA Contractor Report No. 3480, 1981.
14. Frost, Ho-Pen Chang, McCarthy and Elmore - Aircraft performance in a JAWS microburst, preprint volume, 21st Conference on Radar Meteorology, Edmonton, 1983, American Meteorological Society.
15. Bulletin of the American Meteorological Society, April 1986.

ГЛАВА 7

1. Campbell - A conceptual framework for using Doppler radar - Acquired atmospheric data for flight simulation, NASA Technical Paper No. 2192, 1983.
 2. Frost et al. - Microburst wind shear models from the JAWS project, United States Department of Transport, Report No. DOT/FAA-PM - 85/18, June 1985.
 3. Hopkins - Microburst explored, Flight International, London, September 1984.
 4. Hopkins - Wind shear escape, Flight International, London, July 1985.
 5. Klehr - Wind shear simulation enters the fourth dimension, ICAO Bulletin, May 1986.
 6. World Meteorological Organization - Guidelines for the education and training of personnel in meteorology and hydrology, WMO Publication No. 258, 1977.
-

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПУБЛИКАЦИИ ИКАО

Ниже приводится статус и общее описание различных серий технических публикаций, издаваемых Международной организацией гражданской авиации. В этот перечень не включены специальные публикации, которые не входят ни в одну из указанных серий, например "Каталог аэронавигационных карт ИКАО" или "Метеорологические таблицы для международной аэронавигации".

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ И РЕКОМЕНДУЕМАЯ ПРАКТИКА принимаются Советом ИКАО в соответствии со статьями 54, 37 и 90 Конвенции о международной гражданской авиации и для удобства пользования называются Приложениями к Конвенции. Единообразное применение Договаривающимися государствами требований, включенных в международные Стандарты, признается необходимым для безопасности или регулярности международной аэронавигации, а единообразное применение требований, включенных в Рекомендации, считается желательным в интересах безопасности, регулярности или эффективности международной аэронавигации. Для обеспечения безопасности или регулярности международной аэронавигации весьма важно знать, какие имеются различия между национальными правилами и практикой того или иного государства и положениями международного Стандарта. В случае же несоблюдения какого-либо международного Стандарта Договаривающееся государство, согласно статье 38 Конвенции, обязано уведомить об этом Совет. Для обеспечения безопасности аэронавигации могут также иметь значение сведения о различиях с Рекомендуемой практикой, и, хотя Конвенция не предусматривает каких-либо обязательств в этом отношении, Совет просит Договаривающиеся государства уведомлять не только о различиях с международными Стандартами, но и с Рекомендуемой практикой.

ПРАВИЛА АЭРОНАВИГАЦИОННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ (PANS) утверждаются Советом и предназначены для применения во всем мире. Они содержат в основном эксплуатационные правила, которые не получили еще статуса международных Стандартов и Рекомендуемой практики, а также

материалы более постоянного характера, которые считаются слишком подробными, чтобы их можно было включать в Приложение, или подвергаются частым изменениям и дополнениям, и для которых процесс, предусмотренный Конвенцией, был бы слишком затруднителен.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРАВИЛА (SUPP) имеют такой же статус, как и PANS, но применяются только в соответствующих районах. Они разрабатываются в сводном виде, поскольку некоторые из них распространяются на сопредельные районы или являются одинаковыми в двух или нескольких районах.

В соответствии с принципами и политикой Совета подготовка нижеперечисленных изданий производится с санкции Генерального секретаря.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РУКОВОДСТВА содержат instructивный и информационный материал, развивающий и дополняющий международные Стандарты, Рекомендуемую практику и PANS, и служат для оказания помощи в их применении.

АЭРОНАВИГАЦИОННЫЕ ПЛАНЫ конкретизируют требования к средствам и обслуживанию международной аэронавигации в соответствующих аэронавигационных районах ИКАО. Они готовятся по разрешению Генерального секретаря на основе рекомендаций региональных аэронавигационных совещаний и принятых по ним решений Совета. Планы периодически изменяются и дополняются с учетом изменений в требованиях и в методике применения рекомендуемых средств и порядка обслуживания.

ЦИРКУЛЯРЫ ИКАО содержат специальную информацию, представляющую интерес для Договаривающихся государств, включая исследования по техническим вопросам.