

### Сведения об авторах

**Тимофеев Владимир Константинович**, профессор, заведующий кафедрой безопасности мореплавания БГАРФ ФГБОУ ВО КГТУ, г. Калининград, 236029, ул. Молодёжная 6. Тел. +7-962-260-9811, Email: tvkfpmp@mail.ru

**Гуральник Борис Самуилович**, профессор кафедры безопасности мореплавания БГАРФ ФГБОУ ВО КГТУ, г. Калининград, 236029, ул. Молодёжная 6. Тел. +7-906-219-44-26, Email: boris.guraluik@mail.ru

**Иконописцев Иван Игоревич**, аспирант ФГБОУ ВО КГТУ, г. Калининград, 236029, ул. Молодёжная 6. e-mail: tvkfpmp@mail.ru, моб. 8-962-260-98-11

УДК 629.073

DOI: 10.36535/0869-4176-2020-06-9

## ОПАСНОЕ ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК НА ПОЛЕТЫ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

**Г.С. Дугин**  
ВИНИТИ РАН

*На безопасность полетов в сильной мере и при разных режимах полета воздействует такой неблагоприятный метеорологический фактор, как ветровые нагрузки. Рассматриваются причины проявления этих метеоусловий, их характеристики и степень воздействия на воздушное судно. Также анализируется эффективность методов по снижению воздействия этих факторов на воздушные суда.*

**Ключевые слова:** неблагоприятные метеоусловия, безопасность полетов, ветровые нагрузки причины и вероятность проявления, воздействие на воздушное судно, методы предупреждения.

## DANGER IMPACT OF WIND LOADS CONDITIONS ON FLIGHT OF AIRCRAFTS

**G.S. Dugin**  
VINI TI RAN

*The safety of flights is greatly negatively impact by wind loads that affect the aircraft in different flight modes. The reason for the formation of various danger meteorological conditions, their characteristics and the degree of danger to flights is considered. The effectiveness of methods to reduce the impact these factors.*

**Keywords:** unfavorable meteorological conditions, flight safety, wind loads, reasons and probability development, impact on aircraft, methods of warning.

Безопасность полетов современных воздушных судов в значительной мере зависит не только от квалификации летного состава, используемого авиационного и наземного оборудования, но и от погодных условий, в которых совершается полет. Так по данным ИКАО основной причиной (около 20%) авиационных происшествий можно назвать неблагоприятные метеоусловия, а в 30% случаев они явились косвенными причинами таких происшествий.

Среди метеоусловий, которые влияют на безопасность полетов, можно назвать такие, как грозовая деятельность, ограниченная видимость при выполнении полетов, сильная турбулентность, град, обледенение в облаках, а также воздействие на воздушное судно ветровых нагрузок, которые можно отнести к наиболее неблагоприятным факторам в условиях полета.

При рассмотрении этого фактора следует знать, что в атмосфере ветер не является устойчивым по скорости и направлению. Иногда в атмосфере, где происходит полет, наблюдаются очень сильные ветровые потоки, скорость которых превышает 100 км/ч.

Прогнозируя скорость ветра, необходимо учитывать и такие характеристики, как сезон года, время суток; суточный ход температуры, местные особенности земной поверхности и орография. Все это позволяет определить скорость и направление ветра у земной поверхности весьма точно по данным окружающих гидрометеостанций.

Изменение направления и/или скорости ветра (или сдвиг ветра) в зонах прилегающих к аэропорту также является еще одним из факторов, оказывающих в значительной мере влияние на безопасность полетов. Данное изменение возможно, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Следует отметить, что это порождают разные метеорологические явления: гроза с ливнем, нисходящие и восходящие потоки воздуха, температурный инверсионный сдвиг, струйные течения, шквалы. Наблюдения показывают, что приблизительно 5 % гроз сопровождаются порывами ветра, и связанные с ними нисходящие воздушные потоки распространяются на расстояния до нескольких километров.

Если теплая масса воздуха перемещается над холодной воздушной массой, то возникающий так называемый температурный инверсионный сдвиг ветра чаще всего приводит к изменению скорости и (или) направления ветра в небольшом приземном слое. В районах прибрежных или предгорных аэропортов восходящий поток охлаждается при подъеме, но с такой же скоростью нагревается, когда стекает сверху вниз и в результате такого нагревания инверсия над холодным воздухом предгорной долины усиливается.

Самыми опасными случаями можно назвать те, при которых характер воздействия на воздушное судно сдвигов ветра или потоков воздуха складывается (направлен в ту же сторону). Также весьма трудными для пилотирования (из-за времени запаздывания действий пилота и инерции управления) являются случаи резкой смены характера воздействия сдвига ветра (например, увеличение скорости встречного ветра может смениться резким уменьшением этой скорости, а попутный, восходящий поток смениться на нисходящий). Реагирование пилотов на это с запаздыванием может привести к большому суммарному отклонению траектории полета от заданной.

Также большую опасность представляет пролет на сравнительно близком расстоянии другого большого воздушного судна (особенно реактивного), так как при этом в воздухе несколько ниже траектории его полета образуется и сохраняется в течение обычно до нескольких минут узкая зона интенсивной турбулентности и сильных сдвигов ветра, вызванная возмущением потока при обтекании воздушного судна струями воздуха от двигателей. При пересечении спутного следа во время набора высоты или снижения воздушное судно испытывает сильную болтанку.

Наиболее благоприятными для усиления сдвига ветра в слое инверсии являются условия ночной приземной инверсии температуры при безоблачной (или малооблачной) по-

годе на периферии антициклона. При одинаковых метеорологических условиях сдвиги ветра над пересеченной местностью всегда несколько больше, чем над равниной.

В целом можно отметить, что рельеф местности оказывает влияние на сдвиг ветра. Так если воздушный поток, имеющий большую скорость, обтекает препятствие, то перед ним формируется восходящий поток, увеличиваются горизонтальные и вертикальные сдвиги ветра и турбулентность. Над горной местностью скорость и сдвиги ветра еще более возрастают, а за препятствием воздушный поток испытывает наибольшее искажение и здесь регистрируются самые наибольшие сдвиги ветра и турбулентность.

Когда из кучево-дождевого (грозового) облака выпадают ливневые осадки, то это вызывают сильный нисходящий поток воздуха, который при достижении земной поверхности формирует перед очагом зону резкого усиления ветра (шквал). Продолжительность явления обычно составляет несколько минут, а скорость ветра во время шквала нередко превышает 20 м/с. Фронт шквалообразования может простираться вперед от очага на расстояние до 30 км и функционирует в пульсирующем режиме, что представляет большую опасность при полете на малой высоте навстречу движущемуся грозовому очагу.

Если любой устойчивый ветер фактически не оказывает влияния на скорость воздушного судна, то большое влияние на его летные характеристики оказывают изменения скорости ветра и его сдвиг и снос. Путевая скорость при этом равна сумме реальной воздушной скорости и скорости ветра вдоль линии пути полета. Однако в условиях сдвига ветра горизонтальный ветер весьма неустойчив и может изменяться резко на сравнительно коротком отрезке пути и если воздушное судно попадает в условия быстро меняющегося встречного попутного ветра, то из-за действия силы инерции оно не может мгновенно ускориться или замедлиться для восстановления своей исходной воздушной скорости.

Если в течение короткого промежутка времени воздушная скорость меняется соответственно с изменением ветра, то это приводит к изменению подъемной силы, лобового сопротивления и нарушению равновесия сил воздействующих на воздушное судно. При этом появляется результирующая сила, которая при приложении ее к воздушному судну сразу же вызывает его ускорение в том направлении, в котором действует эта нарушающая равновесие сила. Воздушное судно всегда стремится занять такую траекторию полета, на которой будет достигнуто равновесие между действующими на него силами. Поэтому для возвращения воздушного судна на заданную траекторию полета при сдвиге ветра необходимо вмешательство пилота.

Как и в случае изменения воздушной скорости из-за сдвига ветра, изменение угла атаки, вызываемое нисходящим или восходящим потоком, является непродолжительным с последующим восстановлением первоначального угла атаки, благодаря продольной устойчивости воздушного судна. Хотя нарушенное равновесие восстанавливается благодаря продольной устойчивости, но полет воздушного судна при этом будет происходить уже по новой траектории.

Обычно сдвиги встречного/попутного ветра, определяемые по отношению к направлению ВПП, могут возникать вблизи земной поверхности, на посадке/взлете при градиентах, характерных для сильного ветра (особенно при струйных течениях на малых высотах), а также при полетах через фронтальные поверхности и в непосредственной близости от зон грозовой деятельности.

Доказано, что длительность воздействия сдвига ветра зависит от скорости полета воздушного судна. Во время посадки при быстро уменьшающемся встречном или усиливающимся попутном ветре, снижение воздушной скорости приблизительно пропорционально уменьшению встречного или нарастанию попутного ветра, что вынуждает воздушное судно лететь ниже глиссады. При этом новый угол снижения, который возникает во время кратковременного отсутствия равновесия сил, действующих на воздушное судно, бу-

дет сохраняться, до тех пор, пока будет продолжаться сдвиг, сохраняться неизменной вертикальная скорость снижения и пока будет иметь место невмешательство пилота.

Очень опасные условия полета могут создаваться при быстрых изменениях вертикальных составляющих (т.е. восходящих/нисходящих потоков) сдвига ветра, главными причинами чего являются нисходящие порывы. При нисходящем порыве сильные нисходящие потоки пронизывают нижнюю границу облачности и почти доходят до уровня земли с последующим распространением их в радиальных направлениях вдоль земной поверхности. При этом интенсивные порывы вокруг нижней части нисходящего потока у самой земли образуют кольцевые вихри. При встрече с нисходящим порывом воздушное судно обычно вначале сталкивается с усиливающимся встречным ветром, а также и с завихрениями в нисходящем потоке.

Усиливающийся встречный ветер приводит к развороту воздушного судна с подъемом его носовой части, и набором высоты и оно летит выше глиссады или траектории набора высоты. По достижении воздушным судном центра нисходящего порыва встречный ветер прекращается и сменяется нисходящим потоком, а угол атаки продолжает уменьшаться по мере нарастания скорости нисходящего потока, что приводит к пикированию воздушного судна, которое в обратном порядке проходит через заданную глиссаду или траекторию набора высоты и полету ниже нее.

Здесь надо отметить, что нисходящий поток представляет, более серьезную опасность и, чтобы противостоять этому устойчивому нисходящему потоку, требуется обеспечить эквивалентную скорость подъема за счет увеличения тяги и угла тангажа.

Из-за того, что нисходящие порывы часто не являются одиночными, то даже при возможности воздушным судном обойти кромку нисходящего порыва, все же пилотам рекомендуется уйти на второй круг, чтобы избежать воздействия на воздушное судно других нисходящих порывов.

Кратковременное увеличение воздушной скорости, уменьшение и изменчивость угла атаки и уменьшение воздушной скорости, что имеет место в зоне нисходящего порыва, создают для полета чрезвычайно сложную и опасную ситуацию.

Воздушное судно может встретиться с нисходящим порывом еще на ВПП в процессе разбега перед отрывом, а после взлета воздушному судну придется последовательно пересечь зону нисходящего потока и попутного ветра, так как на взлете режим тяги воздушного судна уже является близким к максимальному, то это наихудший из возможных вариантов. При этом пилоту предстоит решать, достаточной ли будет длина полосы для прерванного взлета или же лучше продолжать взлет. Следует сказать, что характер воздействия на воздушное судно фронта порывов известен уже давно, но наиболее подробная информация об этом была накоплена сравнительно недавно.

Все сказанное требует обязательной идентификации наличия сдвига ветра вблизи аэропорта по внешним метеорологическим признакам, что позволяет пилоту заблаговременно принять оптимальное решение для того, чтобы избежать попадания в зону местонахождения этого сдвига посредством ухода на второй круг или задержки захода на посадку, либо взлета до момента улучшения полетных условий.

Следует отметить, что пилоты и сами должны следить за появлением таких внешних признаков, указывающих на наличие сдвига ветра, грозовых явлений и осадков, выпадающих из основания облаков и испаряющихся, не достигнув земной поверхности, появление чечевицеобразного облака, указывающее на наличие стоячих волн, образование шквалистого облака, перемещающегося впереди пояса дождя и указывающее на наличие фронта порывов; сильный порывистый приземный ветер (особенно при расположении аэропорта в холмистой местности или наличии сравнительно больших построек вблизи ВПП), указывающий на возможность местного сдвига ветра и турбулентности.

При выполнении взлетно-посадочных операций значение любого из перечисленных признаков должно в каждом конкретном случае оцениваться с учетом расстояния между регистрируемым явлением и коридорами взлета и посадки.

Также следует сказать, что сильные приземные ветры, расположенные с наветренной стороны траектории захода на посадку или взлета, взаимодействуя с препятствиями на пути преобладающего потока, могут создавать местные области сдвига ветра. К таким, препятствиям обычно относятся, холмы, тесно расположенные группы высоких деревьев, большие здания. В подобных обстоятельствах сдвиг ветра обычно сопровождается турбулентностью при ясном небе.

Такого рода сдвиг ветра чаще всего создается наличием строений вблизи ВПП, которые даже при сравнительно небольшой их высоте (например, ангары, емкости для хранения топлива и т. п.) представляют собой достаточный барьер на пути преобладающего приземного ветра. Потoki воздуха обтекают строения со всех сторон и сверху, приводя к изменению характеристики ветра вдоль ВПП.

В том случае, если ВПП располагаются в узких долинах или вдоль гряды низких холмов, масштаб препятствия (в зависимости от его размера) может повлиять в обширной зоне на маловысотные воздушные потоки.

Для выполнения расчета интенсивности сдвига ветра следует знать, что это явление, представляющее собой изменение вектора ветра от одной точки пространства до другой, выражается разностью между векторами ветра в двух точках. Эта интенсивность сдвига ветра может быть рассчитана путем деления разности между векторами в двух точках на расстояние между ними.

Для вертикального сдвига ветра единицами его измерения являются: м/с на 30 м (метры в секунду на 30 м), а для горизонтального сдвига (метры в секунду на 600 м).

Существующие методы расчета сдвига ветра могут применяться, в том случае, если имеется информация о ветре в двух точках пространства, Эта информация поступает, например, из донесения с борта снижающегося воздушного судна, из данных радиозонда или от двух разнесенных между собой анемометров, установленных на разной высоте на мачтах или вдоль ВПП. Это в значительной мере ограничивает их практическое использование, так как информация о ветре в требуемых конкретных точках обычно не всегда может быть получена.

Также значительную сложность представляет интерполирование данных о сдвиге ветра по той причине, что это явление носит локальный характер и значение сдвига ветра в течение малых промежутков времени может сильно меняться. И поэтому нецелесообразно экстраполировать информацию об изменении сдвига ветра во времени, превышающем более 30 или 60 мин.

При оценке степени опасности сдвига ветра, следует ориентироваться на критерии его интенсивности, которые были рекомендованы ранее на 5-ой Аэронавигационной Монреальской конференции. В таких рекомендациях было указано, что преобладающая угроза сдвига ветра связана с фронтами, включая фронты порывов при грозах и сильных ветрах вблизи земли, которые легко выразить в виде градиентов скорости ветра. Но такой простой подход к классификации интенсивности сдвига ветра не является полностью удовлетворительным из-за того, что сдвиг ветра одной и той же интенсивности может по-разному воздействовать на воздушные суда различных типов. Так, если для одного воздушного судна оно является опасным, то для другого - будет лишь умеренным. Также воздействие, оказываемое сдвигом ветра на воздушное судно, зависит, помимо прочего, от скорости прохождения через зону сдвига ветра. ИКАО требует представлять донесения, сообщения, прогнозы и предупреждения о сдвиге ветра без определения его интенсивности.

Точную информацию о приближении сдвига ветра до настоящего времени пилоты иметь не могут, а поэтому весьма актуальным является необходимость исследований по

вопросу поведения воздушных судов при сдвиге ветра, разработка алгоритмов передачи на борт всех изменений параметров движения воздушного судна, и обоснование рекомендаций членам летного экипажа, гарантирующих безопасность полетов.

Для прогнозирования рассмотренных неблагоприятных ветровых воздействий служит метеорологическое обеспечение аэронавигации, которое включает радиолокационные наблюдения на значительных территориях, донесения с бортов воздушных судов, а также спутниковую информацию. Получающие сегодня широкое распространение автоматизированные доплеровские метеолокаторы, обеспечивают получение наиболее точной информации о ветровых режимах и сдвигах ветра в зонах полетов.

### Литература

1. Организация воздушного движения. Doc. 4444 ATM/501, изд. 15-ое, ИКАО. – 2007. – 468 с.
2. Приложение №3 к Конвенции о международной гражданской авиации «Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации» – 16-е изд. ИКАО. - 2007. –197 с.
3. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. – Л.: Гидрометеиздат. – 1985. – 301 с.
4. Александров В.К., Ещенко С.Д., Калыгин Е.С., Шестун А.Н. Пути повышения безопасности и регулярности полетов в сложных метеорологических условиях. // Проблемы безопасности полетов. – 2018. – № 12.
5. Влияние погоды на безопасность полетов. // Электронный ресурс. Режим доступа; <http://www.letaem-bezstraha.tu>
6. Оценка влияния среды на безопасность полетов. // Научный вестник МГТУ Гражданской авиации. – М. – 2013, № 6, 1-17.
7. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах. Doc. ИКАО 9817 AN/449. – 2005.
8. Здорик Ю.М., Распутиков А.С. Погода и условия полетов в горах. М.: Изографус, – 2003, 359 с.
9. Фрик П.Г. Турбулентность: подходы и модели.- М. Институт компьютерных исследований. – 2013 – 292 с.
10. ИКАО. Аэронавигационное обеспечение полетов-DOC8168 – 2018 – т. 1-2
11. Астаненко П.Д., Баранов А.Б., Шварев И.М. Авиационная метрология: Учебное пособие для Вузов гражданской авиации.- М.Транспорт. – 1985 – 262 с.
12. Обрубов А.Г. Динамика полета в условиях сдвига ветра. Труды ЦАГИ - 1983 - вып. 2163-24 с
13. Позднякова В.А. Практическая авиационная метрология. Екатеринбург: Уральский УТЦ ГА. – 2010.
14. Карлин Л.Н., Алексеевич В.И. Влияние ветра на боевое применение авиации. Авиационная метрология. – 2006, с. 5-10.
15. Валькович Т. Погода под контролем//Airtrafficcontrol. – 2019 – Спец.вып. с. 28-31.
16. Gidrometsentr. Respublika Belarus URL:<http://www.pogoda.by/33446> (19/01/2016)
17. Lopez R.L., Wilson J.R. FAA moves out on solving windshear problem // Interavia – 1989, 44, № 3, p.260-263
18. <https://avia.pro/blog/prepyatstviya-dlya-poleta>
19. <https://www.pogoda.by/33446> (19/01/2016)

### Сведения об авторе

*Дугин Георгий Сергеевич* - зам. Зав. ОНИ по транспорту, ВИНТИ РАН. Зам. Гендиректора Института проблем транспорта и логистики (ООО «ИПТИЛ»). Тел. 8 (917) 544-21-43; 8(499) 155-42-22, E-mail: [gedug@and.ru](mailto:gedug@and.ru), [tranlog@viniti.ru](mailto:tranlog@viniti.ru)