

Эксплуатация винтокрылых летательных аппаратов

Глава 3

1. Общие сведения о вертолетах
2. Основы аэродинамики
- 3. Аэродинамика полета**
4. Органы управления вертолетом
5. Системы вертолета
6. Руководство по летной эксплуатации вертолета
7. Вес и центровка
8. Летные характеристики
9. Основные летные маневры
10. Маневры повышенной трудности
11. Аварийные ситуации на вертолете
12. Полет по приборам
13. Маневры в темное время суток
14. Принятие летных решений
15. Общие сведения об автожирах
16. Аэродинамика автожира
17. Органы управления автожира
18. Системы автожира
19. Руководство по летной эксплуатации автожира
20. Летные маневры
21. Аварийные ситуации на автожире
22. Принятие летных решений на автожире

Версия 1.0 от 24 марта 2012 г.

Данная книга является переводом учебника «Rotorcraft Flying Handbook», издаваемого Федеральной авиационной администрацией США.

Оригинал текста находится по адресу

<http://www.faa.gov/library/manuals/aircraft/media/faa-h-8083-21.pdf>

Перевод выполнен коллективом сайта AvRussia.ru и предназначен для бесплатного распространения при условии сохранения авторского форматирования, в том числе логотипа и адреса сайта.

Замечания, пожелания и вопросы будут приняты с благодарностью на форуме по

адресу <http://avrussia.ru/forum/showthread.php?t=118>

ГЛАВА 3

Аэродинамика полета

Вертолет

Как только вертолет покидает землю, он попадает под действие четырех аэродинамических сил. В этой главе мы рассмотрим эти силы, поскольку они имеют прямое отношение к летным маневрам.

ПОЛЕТ НА ДВИГАТЕЛЕ

Во время полета на двигателе (висения, вертикального полета, полета вперед, в сторону или назад) суммарные подъемная сила и тяга винта перпендикулярны плоскости, ометаемой концами лопастей, или плоскости вращения винта.

ПОЛЕТ В РЕЖИМЕ ВИСЕНИЯ

Из соображений единообразия мы будем рассматривать стационарное висение в условиях отсутствия ветра. Во время полета в режиме висения вертолет поддерживает постоянное положение в выбранной точке, обычно в нескольких метрах над землей. Для того, чтобы вертолет завис, подъемная сила и тяга, создаваемые винтом, должны быть направлены вертикально вверх и равняться по величине весу и аэродинамическому сопротивлению, направленным вертикально вниз.

Во время висения можно менять величину тяги несущего винта, чтобы поддерживать нужную высоту висения.

Это достигается путем изменения угла атаки лопастей несущего винта и, при необходимости, регулировкой мощности. В этом случае тяга действует в том же вертикальном направлении, что и подъемная сила.

[Рисунок 3-1]

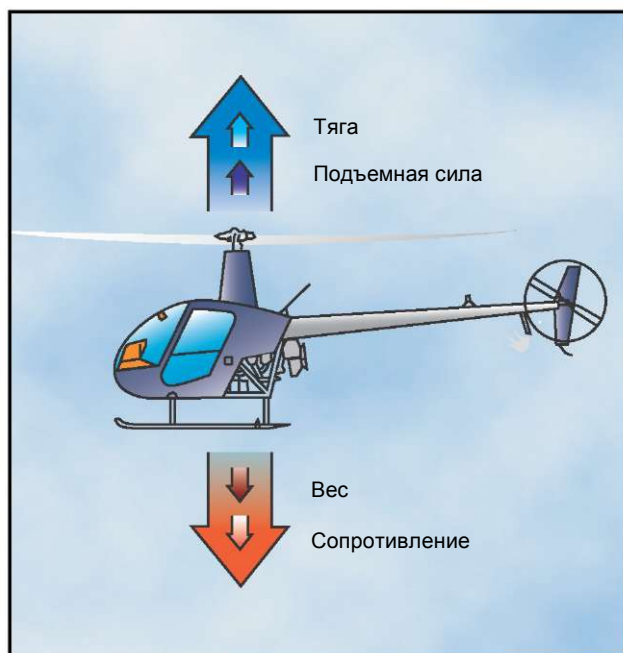


Рисунок 3-1. Чтобы поддерживать висение на постоянной высоте, необходимо создавать достаточные подъемную силу и тягу, чтобы уравновесить вес вертолета и сопротивление, вызываемое лопастями винта.

Вес, который нужно удерживать, равен сумме веса вертолета, пилота и пассажиров. Если величина тяги больше фактического веса, вертолет набирает высоту; если тяга меньше веса, вертолет снижается.

Аэродинамическое сопротивление висящего вертолета - это, в основном, индуктивное сопротивление; оно возникает, когда лопасти создают подъемную силу. Кроме того, имеется еще некоторое профильное сопротивление, которое создается на лопастях, когда они рассекают воздух. Далее под термином "сопротивление" мы будем понимать сумму индуктивного и профильного сопротивления.

Важным следствием создания тяги является крутящий момент. Как указывалось ранее, каждое действие вызывает равное по силе противодействие. Поэтому, когда двигатель поворачивает несущий винт против часовой стрелки, фюзеляж вертолета поворачивается по часовой стрелке. Величина крутящего момента прямо пропорциональна величине мощности двигателя, идущей на вращение несущего винта. Помните: если меняется мощность, крутящий момент тоже меняется.

Чтобы противодействовать этой тенденции к развороту, вызванной крутящим моментом, на вертолетах чаще всего устанавливают винт, компенсирующий крутящий момент - рулевой, или хвостовой винт. Величину тяги, создаваемой хвостовым винтом, можно регулировать в соответствии с величиной крутящего момента, создаваемого двигателем. Если двигатель вырабатывает большую мощность, хвостовой винт должен создавать большую тягу. Это достигается путем использования педалей компенсации реактивного момента.

ТЕНДЕНЦИЯ К СДВИГУ ИЛИ ДРЕЙФ

Во время полета в режиме висения вертолет с одним несущим винтом стремится дрейфовать в направлении тяги хвостового винта. Эта тенденция к дрейфу называется тенденцией к сдвигу. [Рисунок 3-2]

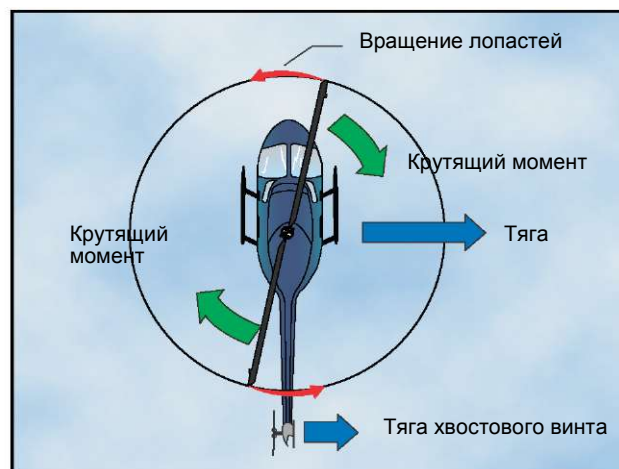


Рисунок 3-2. Хвостовой винт предназначен для создания тяги в направлении, противоположном направлению реактивного момента. Тяги, создаваемой хвостовым винтом, достаточно для перемещения вертолета в сторону.

Чтобы противодействовать этому дрейфу, можно использовать один или несколько приведенных ниже приемов.

- Главный редуктор установлен так, что колонка винта придает плоскости, ометаемой концами лопастей, небольшой наклон в направлении, противоположном тяге хвостового винта, и таким образом создается боковая тяга.
- Управление полетом происходит следующим образом: плоскость вращения винта слегка наклоняется в сторону, противоположную тяге хвостового винта, когда рычаг циклического шага установлен в среднее положение.
- Система управления циклическим шагом работает так, что в режиме висения плоскость вращения винта слегка наклоняется в сторону, противоположную тяге хвостового винта.

Противодействие тенденции к сдвигу у вертолета с НВ, вращающимся против часовой стрелки, вызывает скольжение влево, и высота висения понижается. Обратное справедливо для НВ, вращающихся по часовой стрелке, если смотреть сверху.

МАЯТНИК

Поскольку фюзеляж вертолета с одним НВ подвешен в одной точке и имеет значительную массу, он может совершать свободные колебания по крену и по тангажу наподобие маятника. Чрезмерное отклонение органов управления усиливает колебания маятника; поэтому перемещать ручки и рычаги нужно плавно и понемногу. [Рисунок 3-3]

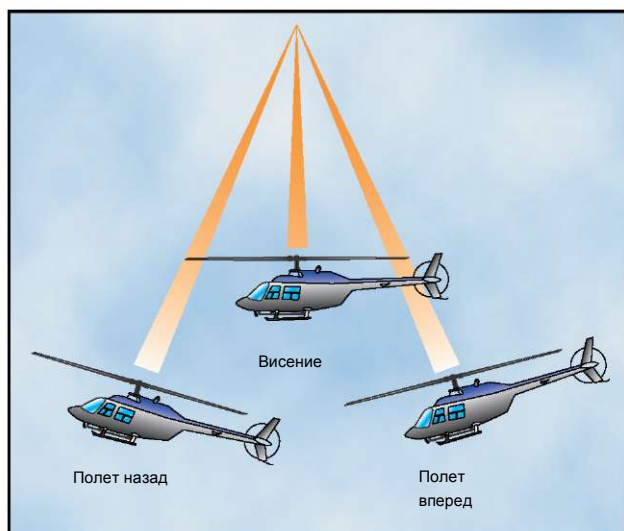


Рисунок 3-3. Поскольку корпус вертолета обладает массой и подвешен в одной точке (верхушка колонки несущего винта), он стремится совершать колебания, как маятник.

КОНУСНОСТЬ

Для того, чтобы вертолет создавал подъемную силу, лопасти винта должны вращаться. Тогда создается набегающий поток, направление которого противоположно направлению вращения НВ. Вращение несущего винта создает **центробежную силу** (инерцию), которая стремится выдернуть лопасти из втулки несущего винта. Чем быстрее вращение, тем

больше центробежная сила. Эта сила придает лопастям винта жесткость, что, в свою очередь, обеспечивает их крепость, достаточную для того, чтобы удерживать вес вертолета. Центробежная сила определяет максимальную скорость вращения несущего винта, связанную с конструктивными ограничениями системы НВ.

Поскольку взлет производится вертикально, одновременно действуют две силы - центробежная, направленная наружу и перпендикулярно колонке винта, и подъемная, направленная вверх и параллельно колонке. В результате действия этих сил лопасти не остаются в плоскости, перпендикулярной колонке, а описывают конус. [Рисунок 3-4]

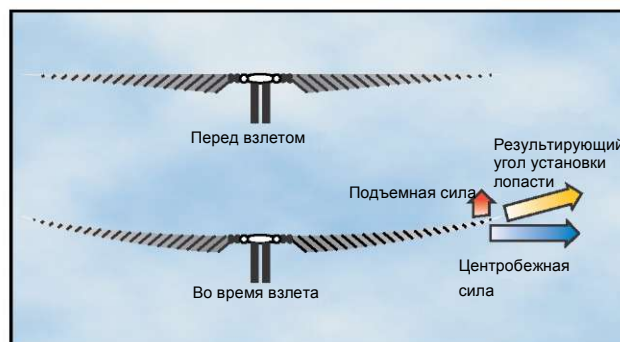


Рисунок 3-4. Конусность лопастей винта имеет место, когда лопасти начинают поднимать вес вертолета. При полужесткой и жесткой конструкциях несущего винта конусность приводит к изгибанию лопастей. У шарнирного винта лопасти могут подниматься под углом вверх за счет движения маховых шарниров.

ЭФФЕКТ КОРИОЛИСА (ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА)

Эффект Кориолиса, который иногда называют законом сохранения момента импульса, можно проиллюстрировать на примере вращения фигуриста на льду. Если фигурист выпрямляет руки в стороны, его вращение замедляется, потому что центр масс перемещается дальше от оси вращения. Если он сложит руки, скорость вращения возрастет, потому что центр масс придвинется ближе к оси вращения.

Когда конец лопасти винта поднимается вверх, центр масс лопасти придвигается ближе к оси вращения, и лопасть ускоряется, чтобы сохранялся момент углового движения. И наоборот, когда лопасть опускается, ее центр масс отодвигается от оси

Центробежная сила—Инерционная сила, действующая на тело, перемещающееся по кругу, и направленная от центра вращения.

вращения, и лопасть замедляется. [Рисунок 3-5] Следует учитывать, что благодаря конусности лопасть винта не может опуститься ниже плоскости, проходящей через втулку винта и перпендикулярной оси вращения. Ускорение и замедление лопастей винта сглаживается демпферами или самой конструкцией лопасти, в зависимости от конструкции винтовой системы.

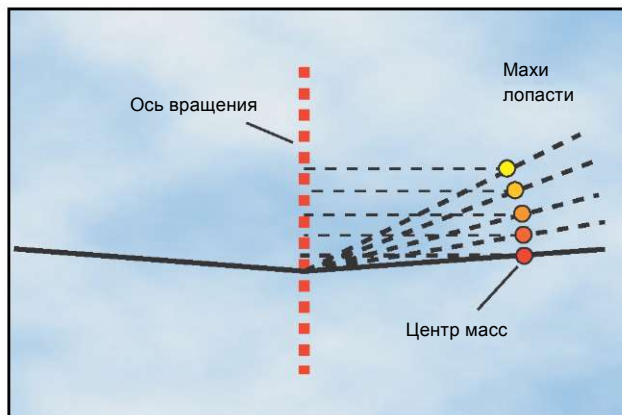


Рисунок 3-5. Тенденция лопасти винта к ускорению или замедлению в плоскости вращения за счет перемещения массы известна как ускорение Кориолиса и названа по имени математика, изучавшего силы, возникающие при круговом движении массы на вращающемся диске.

Несущий винт с двумя лопастями обычно подвергается действию силы Кориолиса в гораздо меньшей степени, чем шарнирные винты, поскольку лопасти в общем случае расположены внизу относительно втулки винта, а изменение расстояния центра масс от оси вращения мало. [Рисунок 3-6] Свободное движение сглаживается изгибом лопастей. Если двухлопастный винт расположить выше, на него будет действовать сила Кориолиса, по величине почти такая же, как у шарнирного винта

ВЛИЯНИЕ ЗЕМЛИ

При висении на небольшой высоте от земли проявляется влияние земли, или действие "воздушной

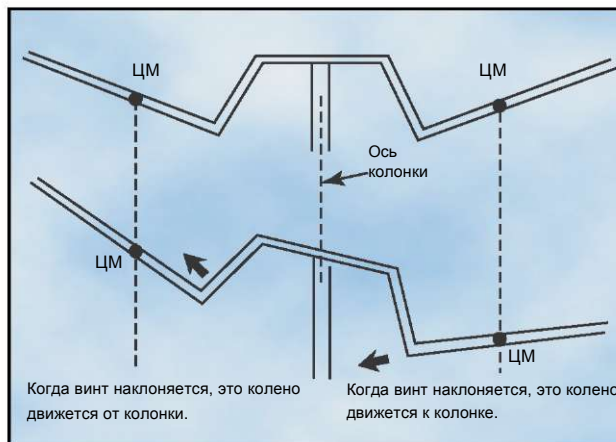


Рисунок 3-6. Поскольку винт находится внизу, когда он наклоняется, центр масс остается примерно на том же расстоянии от колонки.

подушки". [Рисунок 3-7] Обычно этот эффект наблюдается, когда расстояние до земли меньше диаметра несущего винта. Поскольку созданный лопастью (индуцированный) поток через плоскость, ометаемую винтом, уменьшается из-за поверхностного трения, вектор подъемной силы возрастает.

Из-за этого та же величина подъемной силы создается при меньшем угле лопастей винта, а индуктивное сопротивление уменьшается. К тому же влияние земли тормозит образование завихрений возле концов лопастей за счет того, что воздушный поток идет вниз и в сторону, и подъемная сила создается большей площадью лопасти. Когда вертолет набирает высоту вертикально, с нулевой горизонтальной приборной скоростью, индуцированный поток воздуха уже ничем не ограничивается, и по мере сокращения воздушного потока, отходящего в сторону, усиливается образование завихрений на концах лопастей. В результате аэродинамическое сопротивление увеличивается, а это

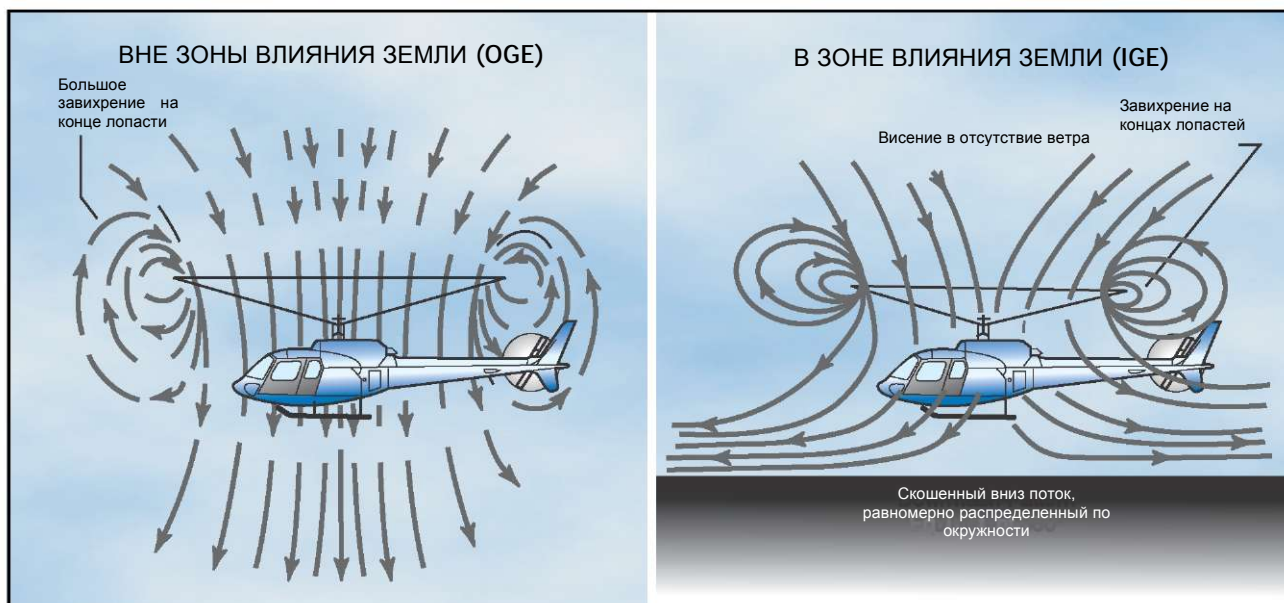


Рисунок 3-7. Циркуляция воздуха при висении вне зоны влияния земли (OGE) и в зоне влияния земли (IGE) различается.

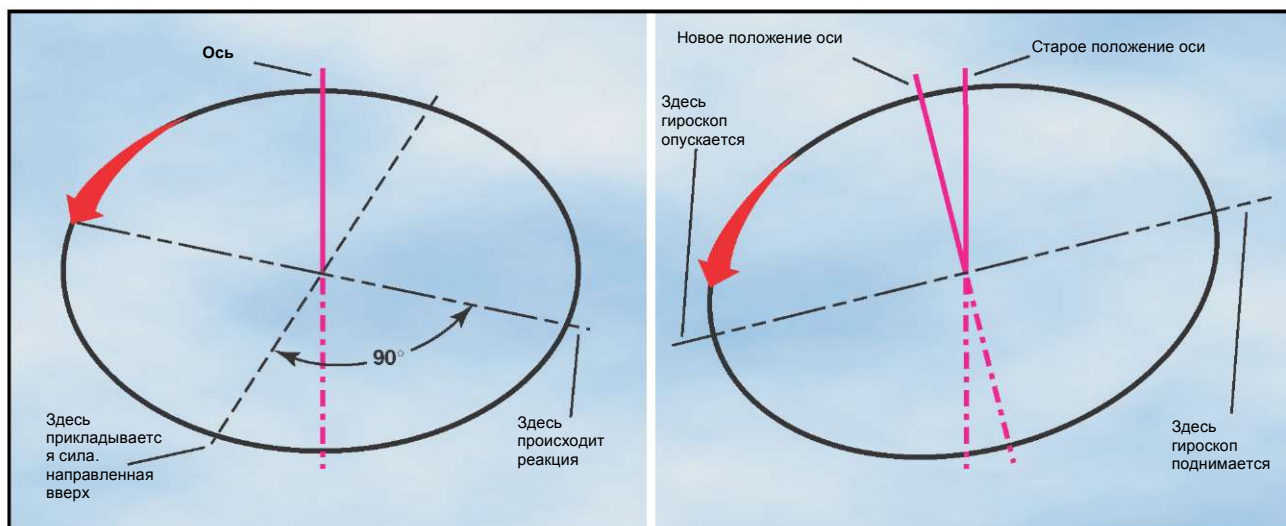


Рисунок 3-8. Принцип прецессии гироскопа—когда к вращающемуся гироскопу прикладывается сила, максимальная реакция наблюдается приблизительно через 90° в направлении вращения.

означает, что угол установки лопастей увеличивается, и нужно больше мощности, чтобы проталкивать воздух вниз через винт.

Влияние земли ощущается наиболее сильно в безветренную погоду над твердой, гладкой поверхностью. Высокая трава, неровный рельеф, земляные насыпи и водные поверхности влияют на воздушный поток и вызывают увеличение завихрений на концах лопастей.

ПРЕЦЕССИЯ ГИРОСКОПА

Вращающийся несущий винт вертолета ведет себя как гироскоп. Поэтому он обладает свойствами гироскопа, одним из которых является прецессия. Гироскопическая прецессия - это реакция, или отклонение вращающегося объекта, когда к этому объекту прикладывается сила. Это явление происходит со сдвигом примерно на 90° в направлении вращения от той точки, где приложена сила. [Рисунок 3-8]

Рассмотрим винт с двумя лопастями и выясним, как прецессия гироскопа влияет на движение плоскости, ометаемой концами лопастей. Перемещение ручки управления циклическим шагом увеличивает угол атаки одной лопасти винта, что приводит к увеличению подъемной силы, приложенной в этой точке плоскости вращения. Это же перемещение ручки одновременно на столько же уменьшает угол атаки другой лопасти, что приводит к уменьшению подъемной силы, приложенной в этой точке плоскости вращения. Лопасть с увеличенным углом атаки стремится взмахнуть вверх; лопасть с уменьшенным углом атаки стремится опуститься. Поскольку плоскость, ометаемая винтом, ведет себя как гироскоп, лопасти достигают максимального отклонения в точке, сдвинутой приблизительно на 90° в плоскости вращения. Как видно из рисунка 3-9, угол атаки отступающей лопасти растет, а угол атаки наступающей лопасти уменьшается, в результате чего плоскость, ометаемая концами лопастей, наклоняется вперед, потому что максимальное отклонение происходит через 90° после той точки, когда лопасти находятся одна впереди, а другая сзади.

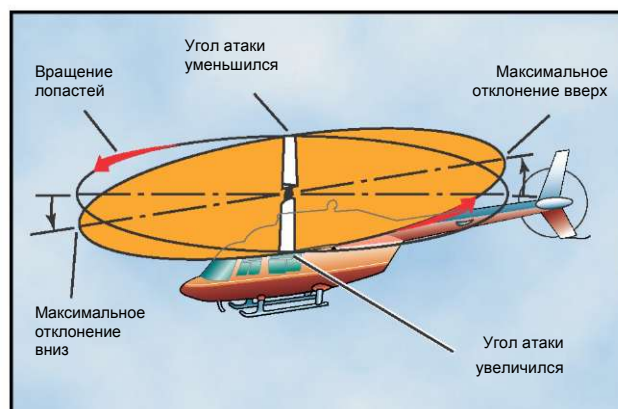


Рисунок 3-9. При вращении лопастей НВ по часовой стрелке наибольший угол атаки наблюдается, когда одна из лопастей проходит положение 90° слева. Наименьший угол атаки имеет место, когда одна из лопастей проходит положение 90° справа. Максимальное отклонение происходит еще через 90° — сзади максимальное отклонение вверх, спереди максимальное отклонение вниз — и плоскость, ометаемая концами лопастей, наклоняется вперед.

У винтов с тремя и более лопастями перемещение ручки управления циклическим шагом меняет на соответствующую величину угол атаки каждой лопасти, и конечный результат оказывается тем же.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПОЛЕТ

Висение является элементом вертикального полета. Увеличение угла атаки лопастей НВ (шага) при их постоянной скорости создает дополнительную подъемную силу и тягу, и вертолет набирает высоту. Уменьшение шага заставляет вертолет снижаться. В безветренных условиях, когда подъемная сила и тяга меньше веса и сопротивления, вертолет вертикально снижается. Если подъемная сила и тяга больше

веса и сопротивления, вертолет вертикально набирает высоту. [Рисунок 3-10]

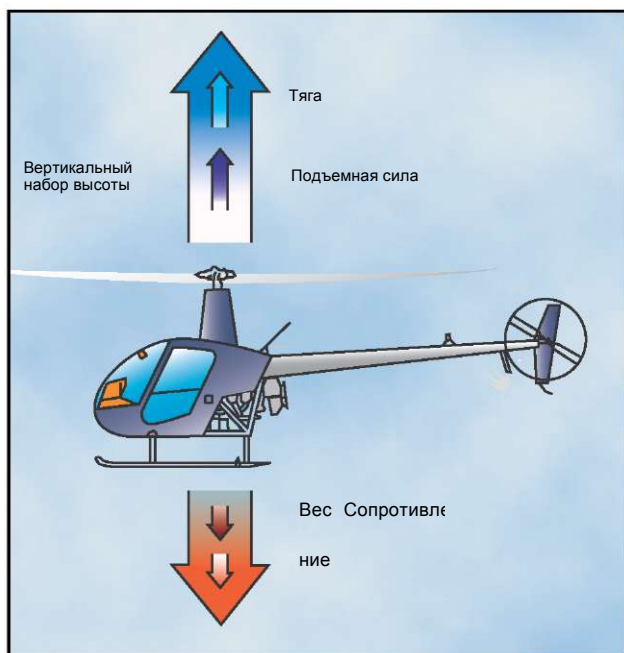


Рисунок 3-10. Чтобы набирать высоту вертикально, необходимо создать большую подъемную силу и тягу, чтобы преодолеть силы веса и аэродинамического сопротивления.

ПОЛЕТ ВПЕРЕД

Во время полета вперед плоскость, ометаемая концами лопастей, наклоняется вперед, и результирующая подъемной силы и тяги отклоняется от вертикали вперед. Эту результирующую силу можно разложить на две составляющие - подъемную силу, направленную вертикально вверх, и тягу, направленную горизонтально в направлении полета. Кроме подъемной силы и тяги на вертолет действуют вес (сила, направленная вниз) и динамическое сопротивление (направленная вниз или против движения сила инерции и сопротивление ветра). [Рисунок 3-11]

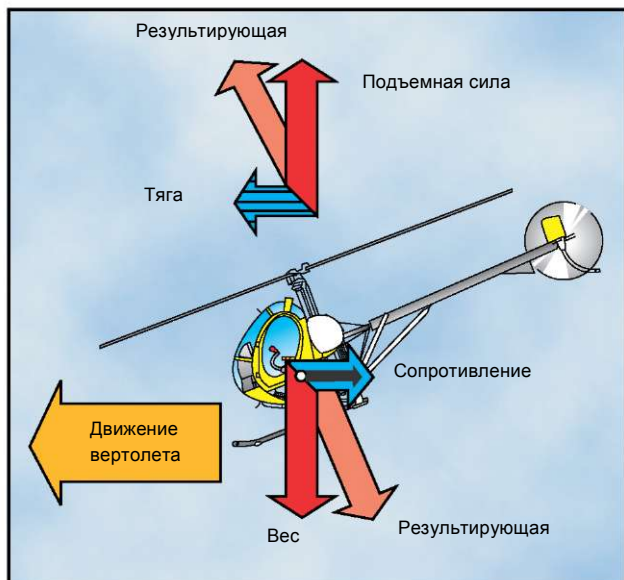


Рисунок 3-11. Для перехода на полет вперед часть вертикальной тяги должна быть перенаправлена горизонтально. Это осуществляется дачей ручки управления от себя.

При прямолинейном горизонтальном полете без ускорения подъемная сила равна весу, а тяга равна сопротивлению (прямолинейный горизонтальный полет - это полет с постоянным курсом на постоянной высоте). Если подъемная сила превосходит вес, вертолет набирает высоту; если подъемная сила меньше веса, вертолет снижается. Если тяга превосходит динамическое сопротивление, вертолет ускоряется; если тяга меньше сопротивления, он замедляется.

По мере движения вперед вертолет начинает терять высоту, потому что, когда тяга отклоняется вперед, подъемная сила уменьшается. Но когда вертолет начинает ускоряться, эффективность НВ повышается из-за усиления воздушного потока. В результате сила получается больше той, что нужна для висения. Продолжающееся ускорение вызывает дальнейшее усиление воздушного потока через плоскость вращения винта и дальнейшее повышение мощности.

ПОДЪЕМНАЯ СИЛА ОТ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Подъемная сила от поступательного движения присутствует, когда есть горизонтальный поток воздуха через винт. Это усиление воздушного потока особенно хорошо заметно, когда приборная скорость достигает 16-24 узлов. Как только вертолет ускоряется до этой скорости, несущий винт выходит из завихрений и находится в относительно невозмущенном воздушном пространстве. Воздушный поток теперь тоже становится более горизонтальным, поэтому уменьшаются индуцированный поток и аэродинамическое сопротивление, с соответствующим увеличением угла атаки и подъемной силы. На этой скорости возникает добавочная подъемная сила, которую называют "эффективная подъемная сила от поступательного движения" (ETL). [Рисунок 3-12]



Рисунок 3-12. Эффективная подъемная сила от поступательного движения в полете легко определяется по кратковременной аэродинамической вибрации и увеличению мощности вертолета.

Когда одновинтовой вертолет летит на подъемной силе от поступательного движения, воздушный поток, проходящий через несущий винт и над хвостовым винтом, становится менее турбулентным и более эффективным в аэродинамическом смысле. По мере повышения эффективности рулевого винта его тяга усиливается и заставляет вертолет рыскать влево, если НВ вращается против часовой стрелки. На взлете нужно корректировать эту тенденцию вертолета правой педалью. Если не скорректировать движение, нос будет задираться вверх, и вертолет будет крениться вправо. Это явление является суммарным результатом несимметричности подъемной силы и действия поперечного потока; оно

корректируется ручкой управления, то есть регулировкой циклического шага. Подъемная сила от поступательного движения присутствует и во время стационарного висения при скорости ветра от 16 до 24 узлов. В штатном режиме обязательно используйте подъемную силу от поступательного движения, особенно если нужна максимальная мощность.

ИНДУЦИРОВАННЫЙ ПОТОК

Когда лопасти винта вращаются, они создают так называемый вращающийся набегающий поток. Этот воздушный поток характеризуется тем, что протекает параллельно плоскости вращения винта в направлении, противоположном направлению вращения, и перпендикулярно передней кромке лопастей винта. Этот вращающийся набегающий поток используется для создания подъемной силы. Когда лопасти винта создают подъемную силу, воздух над аэродинамической поверхностью ускоряется и сбрасывается вниз. Каждый раз, когда вертолет создает подъемную силу, он перемещает большие массы воздуха вертикально вниз через несущий винт. Этот скошенный вниз, или индуцированный, поток может существенно влиять на эффективность несущего винта. Вращающийся набегающий поток складывается с индуцированным потоком и формирует результирующий набегающий поток. По мере усиления индуцированного потока результирующий набегающий поток отклоняется от горизонтали. Поскольку угол атаки определяется как измеренная разность между линией хорды и траекторией результирующего набегающего потока, по мере отклонения результирующего набегающего потока от горизонтали угол атаки уменьшается. [Рисунок 3-13]

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПОТОКА

Когда вертолет в полете вперед ускоряется, индуцированный поток в передней части плоскости вращения уменьшается почти до нуля, а в задней ее части усиливается. Поэтому угол атаки в передней области плоскости вращения увеличивается и заставляет лопасть винта делать взмахивать вверх. В задней области плоскости вращения угол атаки уменьшается, и лопасть делает мах вниз. Поскольку винт ведет себя как

гироскоп, максимальное смещение происходит в точке 90° в направлении вращения. В результате, когда вертолет разгоняется приблизительно до 20 узлов, или если встречный ветер имеет скорость порядка 20 узлов, вертолет проявляет тенденцию к небольшому правому крену.

Действие поперечного потока можно определить по усилившейся вибрации вертолета а) на взлете - на приборных скоростях немного не доходя до эффективной подъемной силы от поступательного движения и б) во время посадки - после прохождения фазы эффективной подъемной силы от поступательного движения. Компенсируют действие поперечного потока ручкой управления, меняя циклический шаг.

НЕСИММЕТРИЧНОСТЬ ПОДЪЕМНОЙ СИЛЫ

Если вертолет движется относительно воздуха, относительная скорость набегающего потока через плоскость вращения несущего винта в передней и задней ее частях различна. Набегающий поток, с которым сталкивается наступающая лопасть, ускоряется за счет горизонтальной скорости вертолета, а скорость набегающего потока, воздействующего на отступающую лопасть, уменьшается на ту же величину. Поэтому в области наступающей лопасти в плоскости вращения винта создается большая подъемная сила, чем в области отступающей лопасти. Эта ситуация называется несимметричностью подъемной силы. [Рисунок 3-14]

Если допустить эту ситуацию, вертолет с НВ, вращающимся против часовой стрелки, будет крениться влево. В реальности лопасти НВ автоматически совершают маховые движения и флюгируют, уравнивая подъемную силу по всей плоскости вращения НВ. Шарнирные НВ, обычно с тремя и более лопастями, имеют горизонтальный (маховый) шарнир, который позволяет каждой лопасти двигаться и совершать маховые движения вверх и вниз независимо от других лопастей. Полужесткий винт (двухлопастный) использует шарнир качения, который позволяет лопастям взмахивать одновременно: когда одна лопасть делает маховое движение вниз, другая взмахивает вверх.

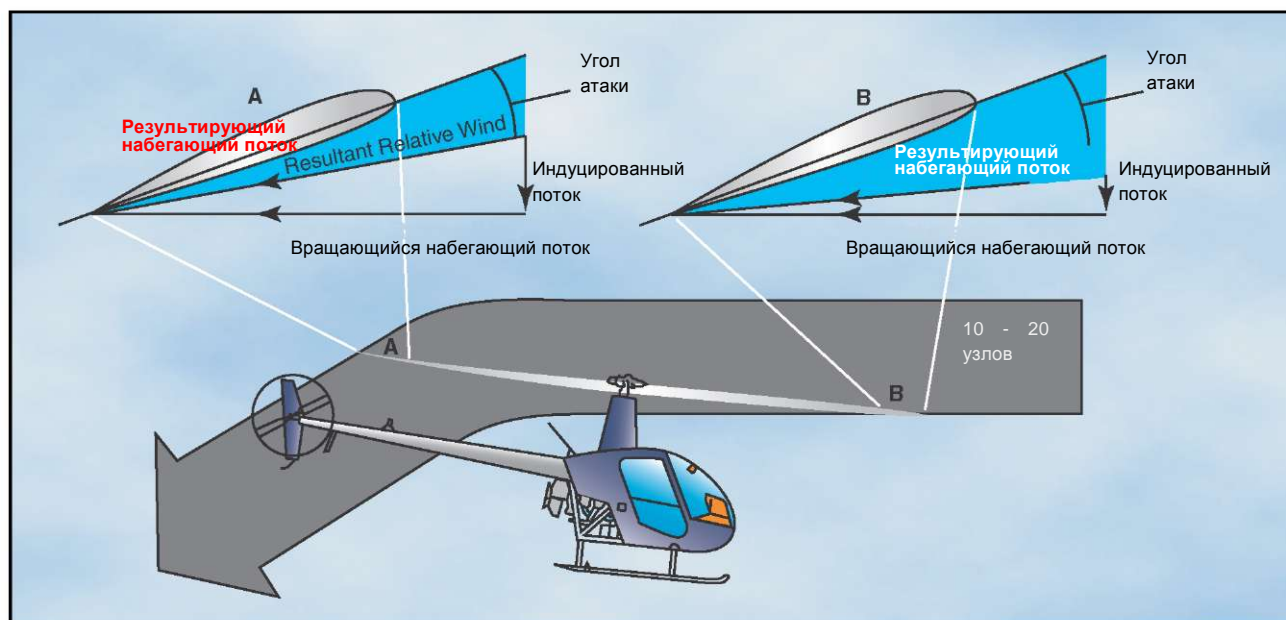


Рисунок 3-13. У вертолета, летящего вперед или висящего со встречным или с боковым ветром, в задней части плоскости вращения проходит больше молекул воздуха. Поэтому в задней области плоскости вращения винта угол атаки меньше, а индуцированный поток больше.

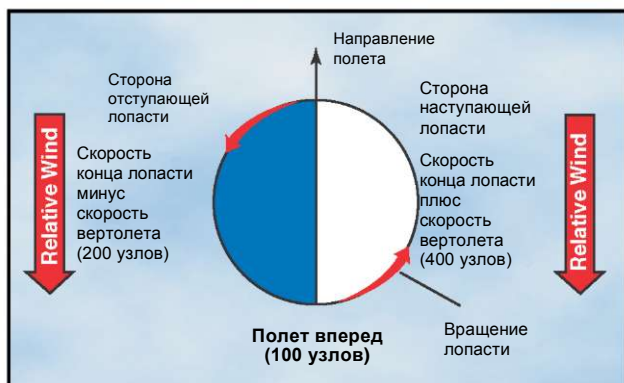


Рисунок 3-14. Скорость концов лопастей этого вертолета - около 300 узлов. Если вертолет движется вперед со скоростью 100 узлов, скорость набегающего потока на стороне наступающей лопасти составляет около 400 узлов. На стороне отступающей лопасти она равна только 200 узлам. Эта разность в скоростях вызывает несимметричность подъемной силы.

Как видно из рисунка 3-15, когда лопасть винта достигает стороны наступающей лопасти плоскости вращения винта (А), она имеет максимальную скорость взмахивания вверх. Когда лопасть взмахивает вверх, угол между линией хорды и результирующим набегающим потоком уменьшается. Из-за этого угол атаки уменьшается, что в свою

очередь уменьшает подъемную силу, создаваемую лопастью. В положении (С) лопасть винта имеет максимальную скорость махового движения вниз. Из-за маха вниз угол между линией хорды и результирующим набегающим потоком увеличивается. От этого увеличивается угол атаки, а значит, и подъемная сила, создаваемая лопастью. Сочетание махового движения лопасти и малой скорости набегающего потока, действующего на отступающую лопасть, обычно ограничивает максимальную горизонтальную скорость вертолета. На больших горизонтальных скоростях на отступающей лопасти происходит срыв потока из-за большого угла атаки и малой скорости набегающего потока. Такая ситуация называется срывом отступающей лопасти и определяется по задиранию носа, вибрации и тенденции к крену - обычно влево у вертолетов с вращением лопастей против часовой стрелки.

Срыва отступающей лопасти можно избежать, если не превышать непревышаемую скорость. Эта скорость обозначается V_{NE} и обычно указывается на плакате в кабине и отмечается красной линией на указателе приборной скорости.

Во время аэродинамического махового движения лопастей винта, когда они компенсируют несимметричность подъемной силы, наступающая

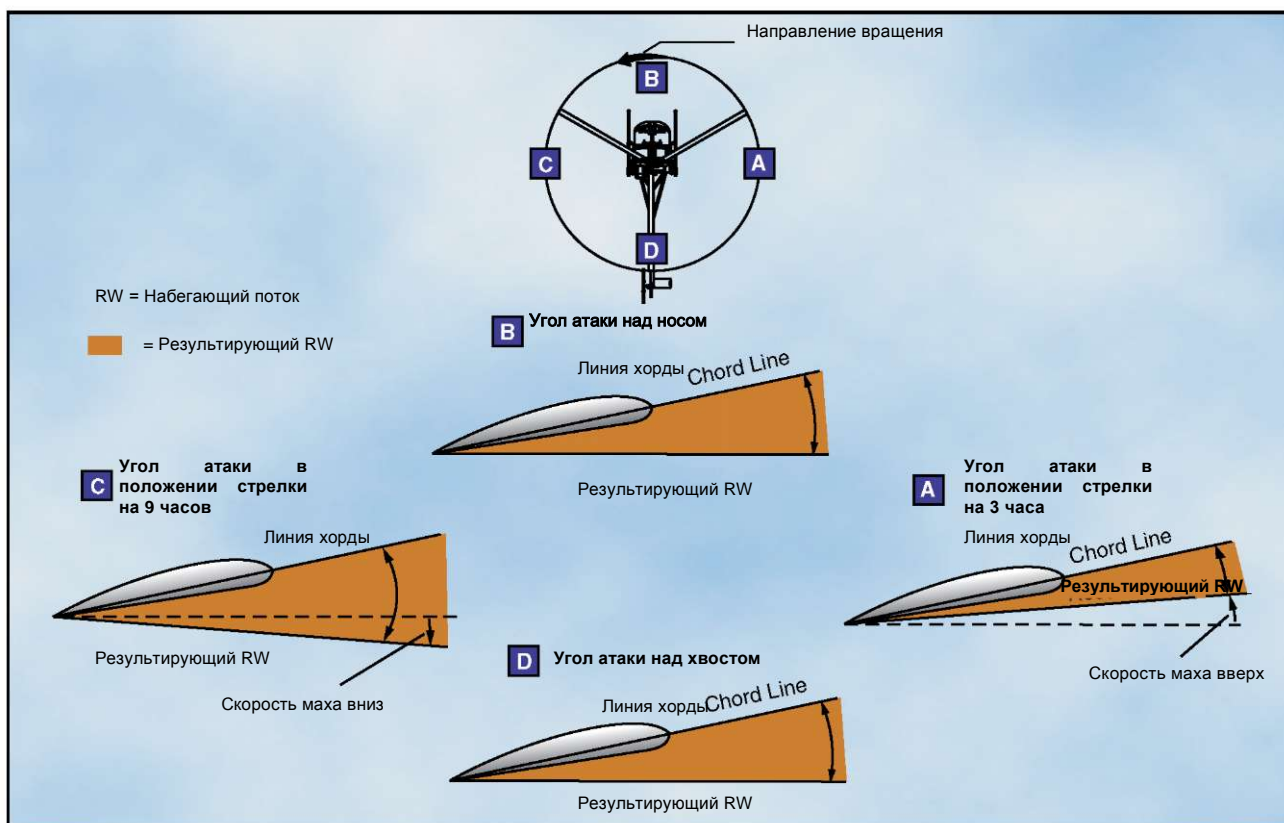


Рисунок 3-15. Одновременное маховое движение вверх (подъемная сила уменьшается) наступающей лопасти и мах вниз (подъемная сила увеличивается) отступающей лопасти выравнивает подъемную силу в плоскости вращения, компенсируя несимметричность подъемной силы.

V_{NE} - Непревышаемая скорость ЛА.
 V_{NE} зависит от высоты,
 барометрической высоты и веса.

лопасть достигает максимального смещения взмаха вверх над носом, а максимального смещения вниз - над хвостом. Из-за этого плоскость, ометаемая концами лопастей, наклоняется назад; это называется отдачей (blowback). На рисунке 3-16 показано, что сначала плоскость вращения винта располагалась так, что передняя часть после начального изменения циклического шага была опущена, а по мере роста приборной скорости и взмаха для компенсации несимметричности подъемной силы передняя часть ометаемого диска поднимается, а задняя опускается. Такое изменение положения диска винта меняет направление действия суммарной тяги винта, и горизонтальная скорость вертолета снижается. Ситуацию можно исправить, управляя циклическим шагом.

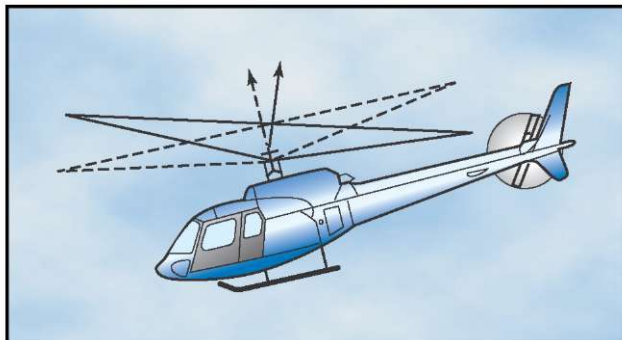


Рисунок 3-16. Для компенсации отдачи нужно дать ручку управления от себя (вперед). Отдача более явно выражена на высоких приборных скоростях.

Боковой полет

При боковом движении плоскость, ометаемая концами лопастей, наклоняется в направлении полета. Результирующий вектор подъемной силы и тяги отклоняется в сторону. В этом случае вертикальная составляющая, или подъемная сила, все так же направлена вертикально вверх, а вес - вертикально вниз, но горизонтальная составляющая, или тяга, теперь направлена в сторону, а сопротивление - в противоположную ей сторону. [Рисунок 3-17]

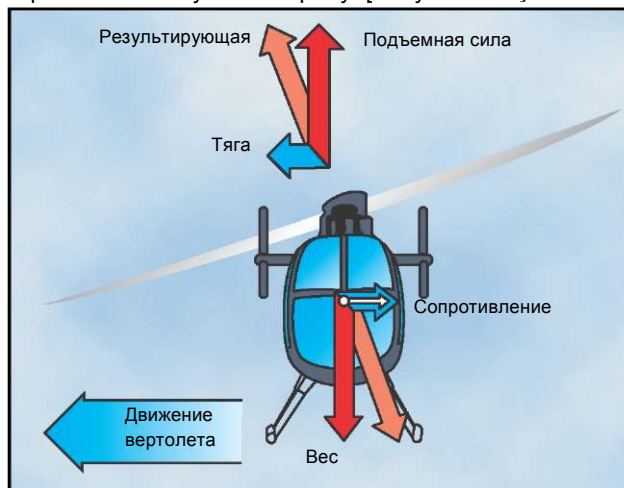


Рисунок 3-17. Силы, действующие на вертолет во время бокового полета.

Полет назад

При движении назад плоскость, ометаемая концами лопастей, наклоняется назад, и суммарный вектор подъемной силы и тяги наклоняется назад. Теперь

сопротивление направлено вперед, подъемная сила вертикально вверх, а вес - вертикально вниз. [Рисунок 3-18]

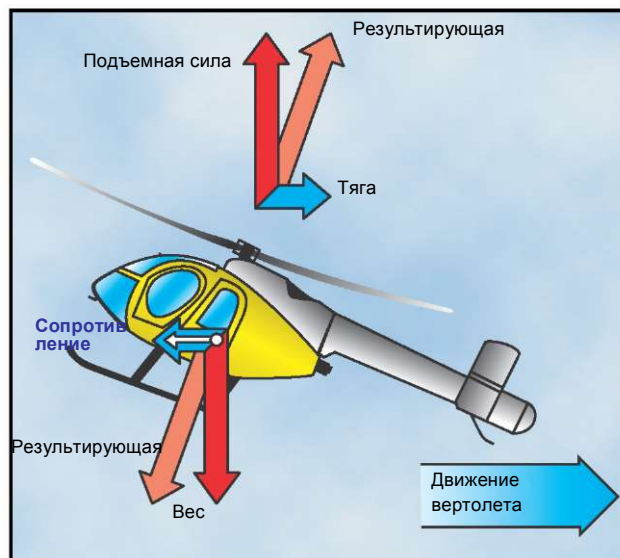


Рисунок 3-18. Силы, действующие на вертолет во время полета назад.

Разворот

Во время полета вперед плоскость вращения винта наклонена вперед, и результирующая подъемной силы и тяги тоже наклонена вперед. На вираже плоскость вращения винта наклоняется в сторону, в результате чего подъемная сила разделяется на две составляющие. Подъемная сила, направленная вверх и противодействующая силе веса, называется вертикальной компонентой подъемной силы. Подъемная сила, направленная горизонтально и противодействующая инерции (центробежной силе), называется горизонтальной компонентой подъемной силы (**центростремительная сила**). [Рисунок 3-19] Когда угол виража увеличивается, суммарная подъемная сила наклоняется ближе к горизонтали, что вызывает возрастание скорости разворота, потому что подъемная сила направлена горизонтально. Поскольку направление суммарной подъемной силы ближе к горизонтали, влияние вертикальной подъемной силы мало. Для компенсации этого ослабления вертикальной подъемной силы, чтобы удерживать высоту, нужно увеличить угол атаки лопастей винта. Чем более крутой разворот, тем больший угол атаки лопастей нужен для удержания высоты. Таким образом, чем больше угол разворота и угол атаки, тем больше результирующая подъемная сила и скорость разворота.

Авторотация

Авторотация - это режим полета, при котором вращение системы несущего винта происходит под действием набегающего потока воздуха,

Центростремительная сила—Сила, противодействующая центробежной силе, притягивающая тело к оси его вращения.

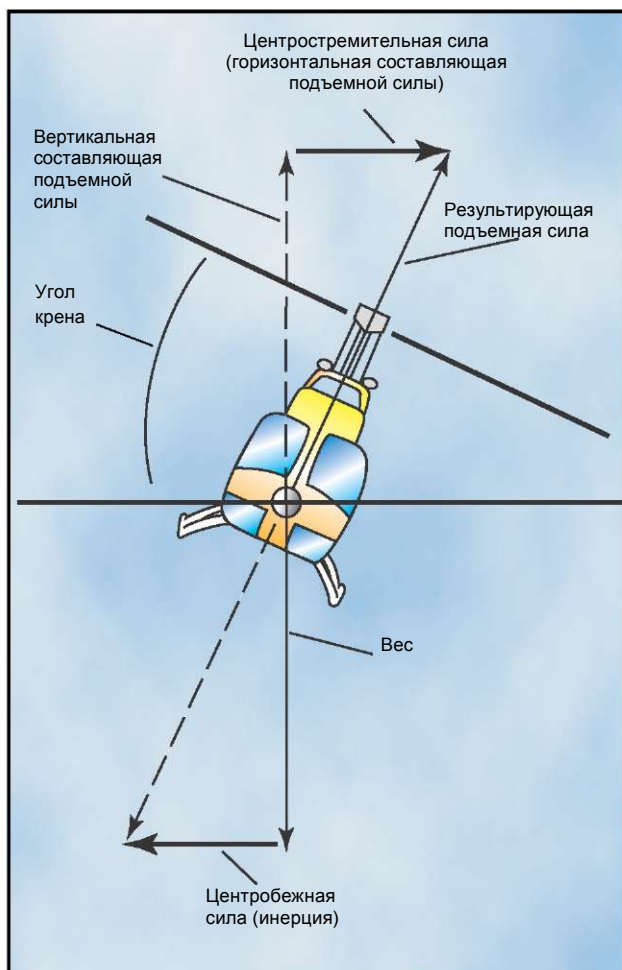


Рисунок 3-19. Горизонтальная составляющая подъемной силы придает вертолету ускорение в направлении центра окружности разворота.

а не под действием тяги двигателя. Это режим, в котором вертолет можно безопасно посадить в случае отказа двигателя. В этом случае высота используется как потенциальная энергия, которая при снижении и касании превращается в кинетическую. У каждого вертолета, проходящего сертификацию, обязательно должен предусматриваться такой режим. Авторотация происходит механически благодаря наличию обгонной муфты, которая позволяет несущему винту продолжать свободное вращение

даже в случае остановки двигателя. Во время обычного полета на двигателе воздух поступает в несущий винт сверху и выходит снизу. При авторотации воздушный поток входит в плоскость вращения винта снизу, по мере снижения вертолета. [Рисунок 3-20]

АВТОРОТАЦИЯ (ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПОЛЕТ)

Чаще всего авторотация выполняется с горизонтальной скоростью. Для простоты в ходе дальнейшего объяснения аэродинамики авторотации мы будем рассматривать чисто вертикальное снижение (без горизонтальной скорости) в неподвижном воздухе. При таких условиях силы, заставляющие лопасти вращаться, для всех лопастей одинаковы, независимо от их положения в плоскости вращения. Поэтому несимметричность подъемной силы, возникающая при наличии приборной скорости вертолета, уже не оказывает никакого влияния.

При вертикальной авторотации диск винта делится на три зоны, как показано на рисунке 3-21—

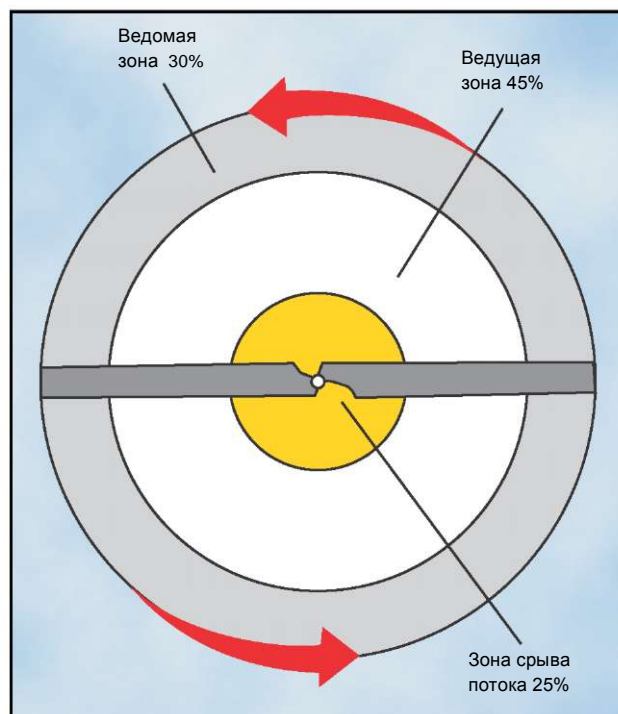
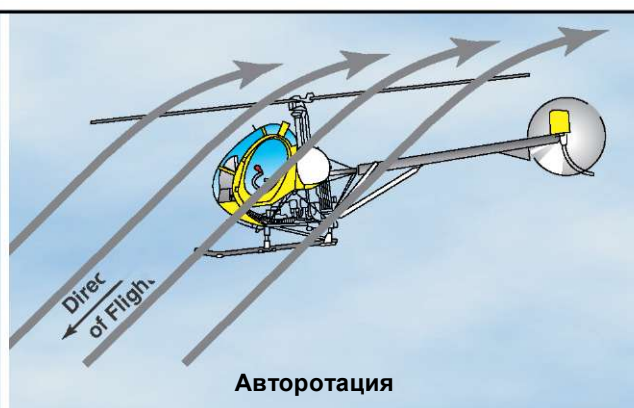


Рисунок 3-21. Зоны лопасти при вертикальном снижении на авторотации.



Обычный полет на двигателе



Авторотация

Рисунок 3-20. При авторотации поднимающийся воздушный поток (набегающий поток), позволяет лопастям несущего винта вращаться с обычной скоростью. Фактически лопасти "планируют" в плоскости вращения.

ведущую зону, ведомую зону и зону срыва потока. На рисунке 3-22 показаны четыре сечения лопасти с векторами сил. Область А - это ведомая зона, В и D - точки равновесия, область С - ведущая зона, а область Е - зона срыва потока. Вектора силы в каждой области разные, потому что вращающийся набегающий поток у корня лопасти медленный, а к концу лопасти постепенно ускоряется. Крутка лопасти увеличивает положительный

угол атаки в ведущей зоне по сравнению с ведомой. Сочетание набегающего воздушного потока, проходящего через винт, с вращающимся набегающим потоком создает разные комбинации аэродинамических сил в разных точках лопасти. Ведомая зона, или зона воздушного винта, располагается ближе к концам лопастей. Обычно она составляет около 30

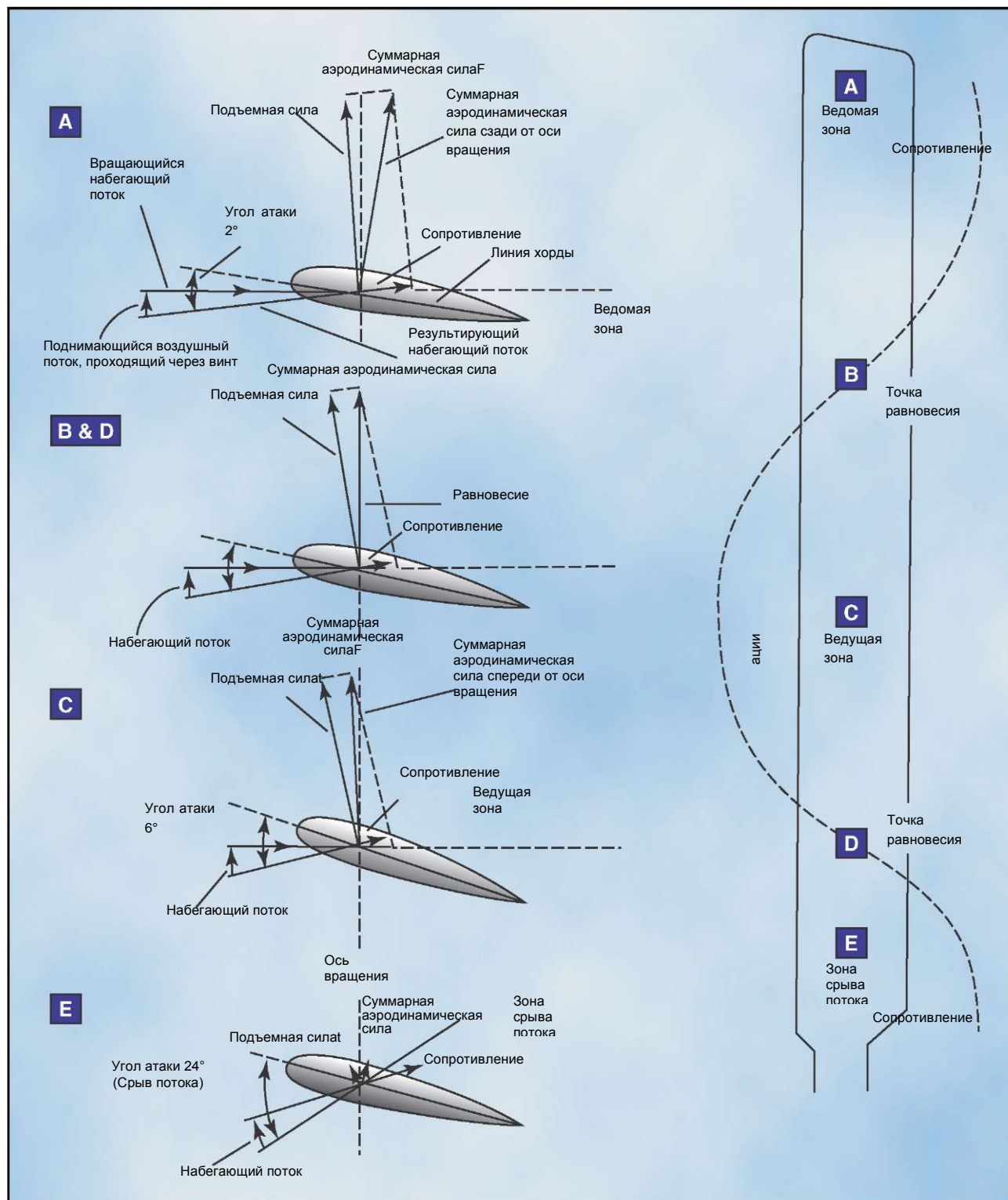


Рисунок 3-22. Векторы сил при снижении на вертикальной авторотации.

процентов радиуса. В ведомой зоне (область А на рисунке 3-22) суммарная аэродинамическая сила действует за осью вращения, создавая суммарную силу сопротивления. Ведомая область создает определенную подъемную силу, но она компенсируется сопротивлением. Итоговый результат - замедление вращения лопасти. Размер этой области зависит от угла установки лопасти, скорости снижения и оборотов винта. При изменении скорости вращения авторотации, угла лопасти или скорости снижения размер ведомой зоны тоже меняется относительно других зон.

На лопасти имеются две точки равновесия: одна - между ведомой и ведущей зонами, вторая - между ведущей зоной и зоной срыва потока. В точках равновесия суммарная аэродинамическая сила направлена вдоль оси вращения. Подъемная сила и сопротивление присутствуют, но в результате не происходит ни набора высоты, ни снижения.

Ведущая зона, или зона авторотации, обычно занимает от 25 до 70 процентов радиуса лопасти. Область С на рисунке 3-22 - это ведущая зона лопасти, которая создает силы, необходимые для вращения лопастей при авторотации. Суммарная аэродинамическая сила в ведущей зоне немного наклонена вперед от оси вращения, что создает постоянное ускорение. Этот наклон обеспечивает тягу, стремящуюся ускорить вращение лопасти. Размер ведущей зоны зависит от установленного шага лопасти, скорости снижения и оборотов винта.

Управляя размером этой зоны, можно регулировать обороты на авторотации. Например, если рычаг "шаг-газ" взять на себя, общий шаг увеличивается во всех зонах. Из-за этого точка равновесия перемещается вдоль размаха лопасти, увеличивая таким образом размер ведомой зоны. Когда ведущая зона уменьшается, зона срыва потока тоже увеличивается. Уменьшение размеров ведущей зоны вызывает уменьшение ускоряющей силы ведущей зоны и снижение оборотов.

Внутренние 25 процентов лопасти винта называются зоной срыва потока. Эта зона работает на угле атаки выше максимального (угла срыва потока) и создает сопротивление, которое стремится замедлить

вращение лопасти. Область Е на рисунке 3-22 - это зона срыва потока.

Постоянство скорости вращения НВ поддерживается рычагом "шаг-газ", благодаря чему ускоряющие лопасть силы из ведущей зоны уравновешиваются силами замедления из ведомой зоны и зоны срыва потока.

АВТОРОТАЦИЯ (ПОЛЕТ ВПЕРЕД)

Сила авторотации во время полета вперед создается так же, как и при вертикальном снижении вертолета в неподвижном воздухе. Однако из-за того, что горизонтальная скорость меняет приток воздуха, проходящего через диск винта, на отступающей стороне плоскости вращения, где угол атаки больше, все три зоны сдвигаются наружу вдоль размаха лопасти, как показано на рисунке 3-23. На стороне наступающей лопасти угол атаки меньше, и здесь большая часть лопасти приходится на ведомую зону. На стороне отступающей лопасти большую часть лопасти занимает зона срыва потока. Маленькая область у корня лопасти попадает под воздействие обратного потока, поэтому размер ведомой зоны на стороне отступающей лопасти сокращается.

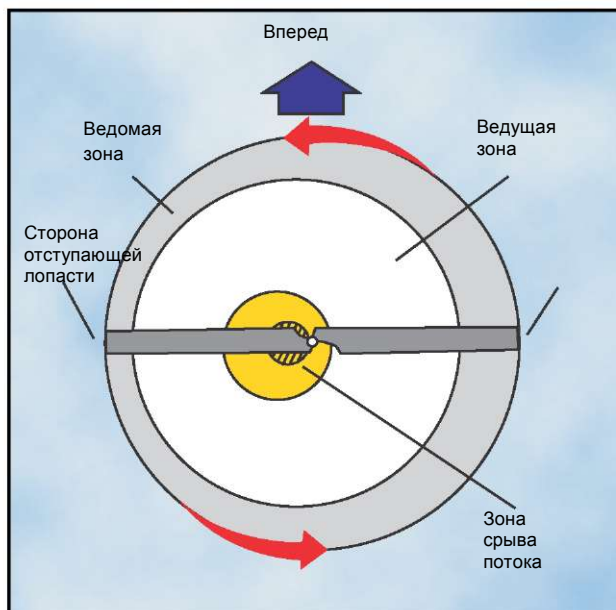


Рисунок 3-23. Зоны лопасти при снижении на авторотации с поступательным движением.