

Устройство вертолета. Часть 2. ПИЛОТИРОВАНИЕ ВЕРТОЛЕТА.

ВЗЛЕТ.

Существует два основных способа взлета вертолета: по-вертолетному — без разбега по земле с отделением от земли по вертикали и последующим разгоном с набором высоты и по-самолетному — с разбегом по земле до определенной скорости отрыва с последующим разгоном в воздухе и набором высоты.

Выбор способа взлета определяется совокупностью следующих основных факторов:

- запаса мощности двигателей для заданных значений взлетной массы вертолета, барометрической высоты взлетной площадки, температуры, давления и влажности наружного воздуха;
- направления и скорости приземного ветра;
- размеров и состояния поверхности взлетной площадки;
- препятствий в направлении взлета.

Чем больше барометрическая высота расположения площадки, чем меньше ее размеры и круче воздушные подходы к ней, чем выше температура и влажность наружного воздуха и меньше скорость встречного ветра, тем меньше должна быть взлетная масса вертолета.

Взлет по-вертолетному — основной способ взлета вертолета. В зависимости от размеров взлетной площадки, конфигурации и высоты окружающих ее препятствий, превышения площадки над уровнем моря, температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра и взлетной массы вертолета взлет по-вертолетному может выполняться по трем траекториям:

- с разгоном вне зоны влияния воздушной подушки;
- по наклонной траектории;
- с разгоном в зоне влияния воздушной подушки.

Взлет по-вертолетному с разгоном вне зоны влияния «воздушной подушки» используют когда площадка имеет ограниченные размеры и окружена достаточно высокими препятствиями, а взлетная масса вертолета обеспечивает устойчивое контрольное висение вне зоны влияния воздушной подушки. Необходимость этого вида взлета обычно возникает при взлете с запыленных площадок или площадок, покрытых свежеснегом.

При этом двигатели работают, как правило, на взлетном режиме, а в случае внезапного отказа одного из них безопасная посадка вертолета не гарантирована, так что злоупотреблять данным видом взлета не рекомендуется. Высота вертикального подъема вертолета должна быть такой, чтобы обеспечивался безопасный проход над окружающими площадку препятствиями в полосе взлета с превышением не менее 5 м (и не менее 50 метров, при полете над вертолетами, находящимися на земле, с раскрученным НВ).

Взлет по-вертолетному по наклонной траектории может быть использован, когда площадка имеет ограниченные размеры, высота препятствий в направлении взлета не превышает 5 м, а взлетная масса обеспечивает одновременный разгон вертолета и набор высоты. Этот вид взлета разрешен для вертолетов с высокой энерговооруженностью («тяговооруженностью» - отношение массы вертолета и мощности двигателей) и обеспечивает наиболее эффективное использование

располагаемой мощности двигателей для увеличения полной энергии движения вертолета. Кроме того, при отказе одного или даже двух двигателей в процессе взлета возможна безопасная вынужденная посадка вертолета, а при отказе одного из двигателей в определенных условиях - продолжение полета.

Взлет по-вертолетному с разгоном в зоне влияния воздушной подушки используется обычно с площадок, имеющих открытые подходы (аэродромы, вертодромы). Этот вид взлета получил самое широкое распространение, так как возможен при работе двигателей, как правило, на номинальном режиме и соответственно с большим запасом мощности для маневрирования. После вертикального отрыва и зависания вертолет разгоняется вблизи земли с углом тангажа на пикирование $10 \dots 15^\circ$ до некоторой скорости, превышающей минимальную скорость горизонтального полета, после чего переводится в набор высоты.

Наиболее общее и главное условие обеспечения безопасности рассмотренных видов взлета по-вертолетному — плавное увеличение общего шага НВ при отрыве вертолета от земли и столь же плавное и соразмерное отклонение ручки управления от себя при разгоне. Пренебрежение этим правилом может привести к перегрузке НВ, уменьшению частоты его вращения и тяги, самопроизвольному снижению и столкновению вертолета с землей, особенно при взлете с высокогорной площадки в жаркое время года.

Ответственный момент взлета по-вертолетному — перевод вертолета в поступательное движение (разгон), особенно в тех случаях, когда отрыв от земли осуществлялся при работе двигателей на взлетном режиме. Ведь отклонение вперед равнодействующей аэродинамической силы НВ сопровождается уменьшением ее вертикальной составляющей, которая уравнивает силу тяжести вертолета. Поэтому только соразмерные и плавные действия рычагами управления гарантируют исключение перетяжеления НВ и просадки вертолета. Если тенденция к снижению все же появляется, движения рычага «шаг — газ» вверх и ручки управления от себя должны быть особенно плавными и мелкими, а основное внимание следует уделить частоте вращения НВ, чтобы не допустить опасного перетяжеления НВ.

Для обеспечения безопасности выполнения взлета по-вертолетному необходимо соблюдать ограничения по скорости ветра сзади и сбоку, оказывающего неблагоприятное влияние на запасы управления, работу двигателей и пилотирование вертолета. Встречный ветер, напротив, улучшает условия взлета, особенно на участке разгона.

Если взлет по-вертолетному невозможен, вертолет вырубивает к месту старта для взлета с разбегом.

Необходимая для разбега вертолета пропульсивная сила формируется главным образом за счет аэродинамической силы НВ, отклоняемой вперед. Отрыв вертолета от земли осуществляется путем увеличения общего шага НВ и мощности двигателей (при необходимости до взлетного режима) и небольшого отклонения ручки управления на себя, которое парирует тенденцию вертолета к отрыву сначала основных опор.

РЕЖИМ ВИСЕНИЯ.

Режим висения — наиболее характерный для вертолета режим полета, когда вертолет не перемещается относительно земли. Для выполнения висения в общем случае необходимо:

- установить вертолет против ветра;
- плавным движением рычага «шаг—газ» вверх отделить вертолет от земли и набрать заданную высоту;
- по достижении заданной высоты висения плавно уменьшить общий шаг до

уравновешивания силы тяжести вертолета и тяги НВ;

При отрыве от земли одновинтовой вертолет имеет тенденции к смещению, наклону и развороту. Благодаря заклиниванию оси вала НВ относительно строительной вертикали фюзеляжа вперед на угол 4...5° вертолет при отрыве от земли смещается вперед и опускает нос. При увеличении тяги НВ и мощности двигателей для отделения вертолета от земли соответственно возрастают реактивный момент НВ и тяга РВ, вследствие чего вертолет имеет тенденцию к развороту, смещению и накренению влево. Таким образом, при отделении вертолета от земли необходимо соразмерно отклонить вперед правую педаль, а ручку управления — на себя и вправо.

Условия выполнения висения заметно осложняются при наличии попутного и бокового ветра. Ветер сзади и сбоку создает определенные трудности в технике пилотирования вертолета. При висении с использованием взлетного режима работы двигателей ветер рассматриваемого направления забрасывает часть горячих выходящих газов во входные устройства двигателей. Это сопровождается локальным повышением температуры наружного воздуха и уменьшением мощности двигателей, что также усложняет условия выполнения висения, особенно в жаркое время года при полной загрузке вертолета. В напряженных условиях висения (повышенные значения полетной массы, барометрической высоты площадки, температуры наружного воздуха) соответствующее уменьшение взлетной мощности двигателей может дополнительно ограничить взлетные возможности вертолета.

При ветре сзади для устранения перемещения вертолета вперед необходимо отклонять ручку управления на себя, что вызывает увеличение угла тангажа, опускание хвостовой балки. В таком балансирующем положении возрастают продольная аэродинамическая сила, смещающая вертолет по ветру. Это в свою очередь требует еще большего отклонения ручки управления на себя для удержания вертолета на месте. При скорости ветра сзади 7 ... 10 м/с запас управления на себя на некоторых вертолетах может оказаться исчерпанным. Значительное опускание хвостовой балки вызывает также опасность касания хвостом земли.

При ветре слева уменьшаются углы атаки лопастей и тяга РВ, возникает поперечная аэродинамическая сила корпуса, смещающая вертолет по ветру. Для устранения разворота влево и перемещения вертолета вправо необходимо отклонить вперед правую педаль и ручку управления влево, что вызовет некоторое уменьшение тяги НВ, уравновешивающей силу тяжести вертолета, и мощности на валу НВ. Поэтому для обеспечения балансировки вертолета по высоте следует отклонить вверх рычаг «шаг — газ», что сопровождается увеличением реактивного момента НВ и требует еще большего отклонения вперед правой педали.

При скорости ветра слева, превышающей ~10 м/с, запас путевого управления по правой педали может оказаться исчерпанным, особенно если полетная масса увеличена, используется взлетный режим работы двигателей и понижена частота вращения НВ. При ветре справа со скоростью 7...10 м/с РВ попадает в режим «вихревого кольца», что вызывает уменьшение его тяги и разворот вертолета влево. При устранении разворота и смещения вертолета влево также может оказаться исчерпанным запас путевого управления по правой педали.

Для обеспечения должных запасов управления, предотвращения самопроизвольного перемещения, снижения и вращения вертолета, отрыв его от земли, вертикальный набор высоты, висение, вертикальное снижение и приземление рекомендуется выполнять при скорости ветра сзади 5 ... 7 м/с, сбоку — 7 ... 10 м/с.

Особенности висения вертолета с попутным и боковым ветром в полной мере относятся и к выполнению разворотов на висении в условиях ветра, так как во время разворота встречный ветер может оказаться боковым или попутным. Кроме того, как только начинается вращение вертолета, увеличивается площадь миделевого сечения фюзеляжа, на которую действует ветер, в результате чего смещение вертолета по

ветру возрастает.

Для ограничения динамических нагрузок на РВ, хвостовую трансмиссию, концевую и хвостовую балки разворота на висении разрешается выполнять с фиксированной угловой скоростью. Соответственно отклонения педалей в сторону разворота должны быть плавными, а при изменении направления вращения не следует допускать полного перемещения педалей быстрее, чем за ~ 3 с. Современные вертолеты имеют в системе путевого управления гидромеханический демпфер, а в пилотской кабине — сигнальное табло «велик темп дачи педали».

Угловую скорость вертолета на развороте, так же как и высоту висения, определяют и контролируют главным образом по земле.

Необходимо иметь в виду, что в левый разворот вертолет входит охотнее и вращается энергичнее, чем вправо. Объясняется это действием реактивного момента НВ, который «помогает» вертолету развернуться влево. Поэтому ввод в левый разворот следует выполнять особенно плавно, стремление вертолета к увеличению угловой скорости вращения парировать упреждающим отклонением правой педали, а вывод из разворота начинать заблаговременно — за $\sim 30^\circ$ до намеченного ориентира. Кроме того, при развороте влево тяга и мощность, необходимая для вращения РВ, уменьшаются, а образующийся в первый момент избыток мощности силовой установки вызывает некоторое увеличение частоты вращения и тяги НВ. Поэтому при развороте влево вертолет набирает высоту, при развороте вправо, наоборот, снижается, что необходимо парировать соответствующими отклонениями рычага «шаг — газ». В напряженных условиях висения, когда двигатели работают на взлетном режиме, выполнять развороты, особенно правые, не рекомендуется. При выводе из левого разворота, когда имеется запас мощности двигателей для исключения просадки вертолета перед отклонением правой педали целесообразно незначительно увеличить общий шаг, не допуская, однако, уменьшения заданной частоты вращения НВ.

Выполнение разворотов на висении в условиях ветра имеет ряд особенностей. Если вертолет висит против ветра, как это и рекомендуется, при повороте на 90° ветер становится боковым, при повороте на 180° — попутным. Поэтому отмеченные ранее особенности пилотирования вертолета при выполнении висения с ветром сбоку и сзади в полной мере относятся и к выполнению разворотов в этих условиях. В частности, для удержания вертолета на месте в процессе разворота необходимо все время отклонять ручку управления против ветра. При выполнении полного разворота на 360° флюгирующее действие ветра, проявляющееся в тенденции вертолета установиться, как флюгер, по ветру, все время изменяется. Это вызывает необходимость соразмерного увеличения или уменьшения отклонения педали в сторону разворота для сохранения равномерности вращения вертолета.

В целом выполнение разворотов на висении в условиях ветра заметно усложняется по сравнению со штилевыми. Поэтому развороты в любую сторону на любой угол с указанной выше угловой скоростью для некоторых вертолетов разрешены только при скорости приземного ветра не более ~ 5 м/с. Если скорость ветра составляет 5...10 м/с, можно разворачиваться не более чем на 90° относительно направления ветра, а при большей скорости ветра выполнение разворотов на висении вообще не рекомендуется.

В некоторых экстремальных условиях (повышены значения полетной массы, температуры наружного воздуха, барометрической высоты висения в неспокойном воздухе, угловой скорости разворота влево) разворот вертолета может стать неуправляемым.

Самопроизвольное, левое вращение вертолета может возникнуть вследствие исчерпания запаса путевого управления по правой педали, что в свою очередь обусловлено:

• **существенным уменьшением тяги РВ при боковом ветре или интенсивном**

развороте влево вблизи земли;

· увеличением реактивного момента НВ при висении и развороте вертолета с использованием взлетного режима работы двигателей и пониженной частотой вращения НВ.

Самопроизвольное вращение вертолета может происходить с достаточно большой угловой скоростью и сопровождаться снижением, колебаниями по тангажу и крену, что при висении на небольшой высоте над площадкой представляет значительную опасность. Вывод вертолета из режима самопроизвольного вращения возможен тремя способами: увеличением скорости, перемещением правым бортом и уменьшением общего шага НВ.

НАБОР ВЫСОТЫ И РАЗГОН.

Взлет завершается набором высоты и разгоном. Эти две цели обычно достигаются одновременно, т. е. высота набирается по наклонной траектории при непрерывном увеличении скорости движения по этой траектории.

Эффективность выполнения рассматриваемого переходного режима полета определяется главным образом избытком мощности силовой установки.

Мощность, необходимая для подъема вертолета по наклонной траектории, больше мощности, необходимой для горизонтального полета с той же поступательной скоростью. Ведь в режиме набора высоты часть мощности затрачивается на перемещение вертолета по вертикали, т. е. на создание вертикальной скорости. В свою очередь избыток мощности уменьшается при увеличении высоты полета (свыше расчетной по высотности двигателей) и температуры наружного воздуха. При этом соответственно уменьшается и наимыгоднейшая скорость набора высоты.

При нормальных полетной массе вертолета и атмосферных условиях набор высоты выполняется обычно на номинальном режиме работы двигателей с постоянным значением общего шага НВ. Однако после превышения высотности двигателей приходится, как правило, увеличивать режим их работы вплоть до взлетного. Это сопровождается уменьшением частоты вращения НВ по сравнению с номинальным стабилизированным значением. Дальнейшее отклонение вверх рычага «шаг—газ» уже недопустимо, так как вызовет еще большее уменьшение указанной частоты вращения и перетяжеление НВ. Наоборот, для сохранения частоты вращения НВ в допустимых пределах часто приходится уменьшать общий шаг и режим работы двигателей плавным отклонением рычага «шаг—газ» вниз.

В случае набора высоты практического потолка полета следует иметь в виду непрерывное уменьшение вертикальной скорости и угла наклона траектории, т. е. энергетический переход в режим горизонтального полета.

Разгон вертолета начинают плавным отклонением рычага «шаг — газ» вверх и ручки управления от себя. Возросшие при этом тяга НВ и мощность двигателей обеспечивают сохранение заданной высоты полета и создание пропульсивной силы НВ непосредственно для разгона. По мере увеличения скорости при отрицательном угле атаки тяга НВ уменьшается, а продольная сила НВ и лобовое сопротивление корпуса возрастают, что требует все большего «подтягивания» общего шага НВ и мощности двигателей.

При выполнении разгона на малой высоте во избежание недопустимой «просадки» вертолета важно соблюдать правильную последовательность действий органами управления: вначале отклонить вверх рычаг «шаг—газ», а затем от себя ручку управления, но не наоборот. После достижения взлетной или заданной номинальной мощности двигателей дальнейший разгон на постоянной высоте полета обеспечивается исключительно наклоном корпуса вертолета в продольной плоскости согласно

динамическим балансировочным характеристикам. При уменьшенных, по сравнению с балансировочными значениями, отрицательных углах тангажа, вертолет набирает высоту, при увеличенных, снижается в процессе разгона. Последнее обстоятельство нужно иметь в виду при выполнении разгона после взлета на малой высоте над рельефом местности. Важно помнить, что вследствие затяжеления НВ при больших значениях увеличение мощности двигателей для автоматического поддержания может происходить и независимо от пилота при постоянном положении рычага «шаг—газ».

МАНЕВРИРОВАНИЕ.

Маневрирование включает в себя вираж, разворот, форсированный и боевой разворот, внешнее и внутреннее скольжение, спираль.

Вираж — криволинейное движение вертолета в горизонтальной плоскости с разворотом на 360° . Часть виража называют разворотом. Вираз с углом крена до 30° считается мелким, а с креном более 30° — глубоким. Выполнение виражей и разворотов на скоростях, меньших 100 км/ч не рекомендуется для некоторых вертолетов.

Если НВ вращается по часовой стрелке, то в энергетическом отношении целесообразны левые виражи и развороты, для выполнения которых необходимо уменьшать шаг РВ. Соответственно уменьшаются потери мощности силовой установки на привод РВ, а возрастающий избыток мощности может быть использован для маневрирования. Кроме того, при левых разворотах меньше динамические нагрузки на РВ, хвостовую трансмиссию и хвостовую балку, что также немаловажно. Применительно к выполнению предельных по мощности виражей отмеченное обстоятельство проявляется в том, что правый вираз удастся выполнять с углом крена, на $3 \dots 5^\circ$ меньшим, чем левый, либо на несколько меньшей скорости. При одинаковых же околопредельных значениях угла крена левый глубокий вираз более устойчив, чем правый.

Если на режиме горизонтального полета отклонить вбок ручку управления, не трогая рычаг «шаг — газ» и педали, вертолет наклонится на соответствующий угол и перейдет в полет со снижением и скольжением. Такое движение, называемое иногда «зарыванием», не является правильным виразом, для выполнения которого необходима центростремительная сила, искривляющая траекторию движения строго в горизонтальной плоскости.

При выполнении виражей и разворотов ограничивают допустимый угол крена значением 30 (для исключения непреднамеренного снижения вертолета), так как при наклонении вертолета на больший угол его сила тяжести оказывается уравновешенной лишь наполовину, и для предотвращения снижения и обеспечения правильного виража необходимо перегрузить силовую установку.

Для ввода вертолета в правильный вираз отклоняют рычаг «шаг—газ» вверх, а ручку управления и педали — в сторону разворота. Поскольку при увеличении общего шага НВ и мощности двигателей возрастает реактивный момент НВ, способствующий развороту вертолета влево, при вводе в левый вираз потребное отклонение педали весьма невелико, при вводе в правый вираз — больше.

Как только возникнет угловая скорость крена при вводе в левый вираз, вертолет проявит тенденцию к пикированию, при вводе в правый вираз — к кабрированию (при вращении НВ по часовой стрелке). Для координированного ввода в вираз ручку управления следует отклонять несколько по диагонали, что позволит сразу же избежать изменения высоты полета. По достижении заданного угла крена следует прекратить перемещение рычага «шаг — газ» и вернуть ручку управления в исходное положение. В процессе дальнейшего выполнения виража выдерживание постоянной скорости осуществляют, главным образом, соответствующим изменением угла тангажа. Выдерживают постоянную высоту полета изменением углов крена вертолета и общего шага НВ, а нулевое скольжение — педалями. Только при плавных координированных действиях всеми органами управления удается достаточно точно

выполнить правильный вираж или разворот вертолета на заданный угол.

При выполнении виражей и разворотов на предельно малых высотах особое внимание следует уделять сохранению скорости и высоты полета, предотвращению опасной «просадки» вертолета вследствие непреднамеренной потери скорости. При этом на высотах до 50 м над рельефом местности допускается угол крена, равный высоте полета (например, 25° на высоте 25 м), но не более 30° .

За $15...20^\circ$ до намеченного ориентира или заданного значения курса координированным отклонением ручки управления и педалей следует начать вывод вертолета из разворота с таким расчетом, чтобы полностью ликвидировать кренение к моменту выхода вертолета на заданный курс.

Как следует из изложенного, для изменения направления полета с помощью разворота в горизонтальной плоскости целесообразно иметь небольшую скорость полета, что позволит быстро выполнить разворот с небольшим радиусом. Если же скорость полета достаточно велика, для сокращения радиуса и времени разворота целесообразно совместить торможение и разворот вертолета.

Форсированный разворот — движение вертолета в горизонтальной плоскости с переменной скоростью и уменьшением скорости полета, без скольжения. В результате торможения скорость разворота возрастает, а радиус виража, и время разворота на заданный угол соответственно сокращаются, что и является основной целью данного маневра. В определенных условиях, например, при полете на скорости близкой к максимальной, быстрый разворот вертолета на данной высоте может быть практически выполнен только по типу форсированного.

Уменьшение скорости вертолета в форсированном развороте при незначительном дросселировании двигателей сопровождается тенденцией к набору высоты.

Форсированный разворот на высотах до 1 км может выполняться с углом крена до 45° . В начале маневра на скорости полета более крейсерской и энергичном торможении в процессе разворота даже с такими углами крена не удастся удержать вертолет в горизонтальной плоскости, парировать набор высоты. В этих условиях форсированный разворот выполняют с уменьшением общего шага на $2 \dots 3^\circ$.

В свою очередь уменьшение общего шага НВ с сопутствующим дросселированием двигателей вызовет еще более интенсивное торможение скорости движения вертолета и соответственно сокращение времени его разворота. Поэтому форсированный разворот с уменьшением общего шага НВ особенно эффективен в тех случаях, когда необходимо не только развернуться как можно быстрее, но и как можно больше уменьшить за время разворота скорость полета.

Форсировать разворот можно не только гашением скорости полета, но и созданием скольжения.

Внешнее скольжение позволяет уменьшить радиус виража, но требует создания большей нормальной перегрузки для выдерживания постоянной высоты полета. Поэтому форсирование виражей и разворотов путем скольжения возможно только при наличии достаточного избытка мощности двигателей и несущей способности НВ, формирующих в свою очередь требуемую для маневра нормальную перегрузку.

Применение внешнего скольжения целесообразно только когда необходимо развернуться в узком воздушном коридоре за короткое время на заданной высоте без превышения допустимых значений угла крена и минимальной скорости полета. За счет внешнего скольжения на угол $\sim 30^\circ$ можно при правильном пилотировании сократить радиус и время виража (разворота) на $20 \dots 30 \%$.

Следует иметь в виду, что вертолеты обладают, как правило, хорошей поперечной

устойчивостью, т. е. при скольжении, например, на правый борт накрываются влево, стремясь ликвидировать скольжение. Это означает, что при выполнении левого виража с внешним скольжением на правый борт вертолет затягивается в левый крен с сопутствующим снижением. Если же выполняется левый форсированный разворот со скольжением, затягивание в левый крен усугубляется из-за изменения аэродинамических характеристик НВ. Безопасность такого маневрирования может быть обеспечена только при наличии достаточного запаса высоты.

Ввод в форсированный разворот осуществляют плавным и соразмерным отклонением ручки управления в сторону разворота и на себя и педалей в сторону разворота. Если при вводе в разворот допущены некоординированные управляющие действия, сопровождающиеся колебаниями вертолета по тангажу и крену, в процессе разворота эти ошибки, как правило, быстро возрастают и исправить их очень трудно. Необходимо следить за частотой вращения НВ, и не допускать превышения ее допустимого значения, особенно при выполнении форсированного разворота с уменьшением общего шага НВ.

В процессе маневра по мере гашения скорости происходит продольная и боковая разбалансировка вертолета, уменьшение его лобового сопротивления и аэродинамической эффективности НВ. В частности вертолет проявляет тенденцию к увеличению угла крена на левом развороте и выходу из крена на правом, вертолет легче входит в левый форсированный разворот, чем в правый.

Вывод из форсированного разворота начинают по достижении скорости не менее 100 км/ч за 15...20° до намеченного курса (ориентира). При этом для сохранения высоты полета плавно увеличивают общий шаг НВ и режим работы двигателей. После вывода из разворота соразмерным отклонением ручки управления от себя и рычага «шаг—газ» вверх разгоняют вертолет до нужной скорости.

Форсированный разворот с уменьшением общего шага НВ выполняется в принципе так же, но несколько сложнее по технике пилотирования. Уменьшение общего шага НВ начинают одновременно с вводом вертолета в крен и завершают к моменту создания максимального угла крена на развороте. При чрезмерно резком отклонении рычага «шаг—газ» вниз и ручки управления на себя в начальной стадии форсированного разворота возможны превышение допустимого значения частоты вращения НВ и опасное сближение лопастей с хвостовой балкой.

Спираль — маневр, сочетающий вираж с набором высоты или снижением, при выполнении которого вертолет движется по спиральной траектории. Спираль с набором высоты называют восходящей, со снижением — нисходящей. Спираль с углом крена до 30° считается мелкой, с большими углами крена — глубокой. Основное назначение спирали — набор высоты или снижение в ограниченном воздушном пространстве, например в горах.

Ввод вертолета в восходящую спираль выполняют обычно из режима горизонтального полета координированным отклонением ручки управления на себя и рычага «шаг — газ» вверх для создания необходимых значений поступательной и вертикальной скоростей. Одновременно с отклонением ручки управления и педалей в сторону разворота обеспечивают создание заданного угла крена и парирование возникающего скольжения вертолета.

Динамика спирального движения вертолета в принципе аналогична динамике виража и существенных затруднений в пилотировании не вызывают.

Боевой разворот — энергичный набор высоты с одновременным непрерывным разворотом на 180°.

Основное назначение боевого разворота заключается в удовлетворении двух противоречивых требований: минимальное время разворота на 180° и максимальный

набор высоты при этом.

Боевой разворот рекомендуется выполнять с крейсерской скоростью при соответствующем постоянном значении общего шага НВ. При вводе в маневр максимальное значение угла тангажа на кабрирование должно составлять $\sim 10^\circ$, угла крена $\sim 20^\circ$. При выводе из маневра углы тангажа и крена должны быть не более максимально допустимых для форсированного виража, а скорость должна быть не менее минимально допустимой для горизонтального полета.

В конкретных условиях выполнения рассматриваемого маневра задаваемый угол крена определяется необходимой скоростью разворота, а угол тангажа — темпом торможения и соответственно необходимым значением набора высоты. При этом, чем больше скорость ввода вертолета в боевой разворот, тем медленнее следует увеличивать угол тангажа для предотвращения срывного обтекания лопастей НВ. В процессе выполнения боевого разворота проявляются все те особенности динамики полета вертолета, которые рассмотрены выше для форсированного виража.

СНИЖЕНИЕ И ПОСАДКА.

Снижение выполняют с небольшим положительным или околонулевым углом тангажа, что облегчает условия пилотирования. Установившийся режим длительного снижения легче выдерживать по положению деталей остекления кабины относительно линии естественного горизонта, периодически контролируя сохранение заданного режима по авиагоризонту, указателю скорости и вариометру.

После выхода на посадочный курс пилот устанавливает такой угол планирования вертолета, при котором обозначенное или намеченное им место приземления проектируется в одной и той же точке на остеклении фонаря кабины в течение всего времени планирования. Значение общего шага НВ должно при этом обеспечить сохранение заданной поступательной скорости планирования 70 ... 120 км/ч по прибору и вертикальной скорости снижения не более ~ 3 м/с.

При достижении высоты ~ 100 м и удалении от места приземления не менее 1000 м начинается плавное уменьшение поступательной скорости с таким расчетом, чтобы на высоте начала выравнивания она составляла 50 ... 60 км/ч.

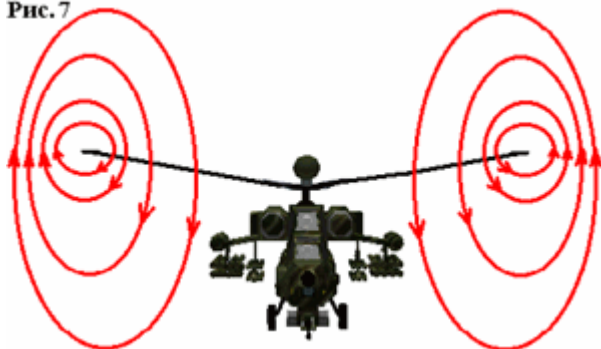
Предпосадочное торможение выполняют в диапазоне режимов горизонтального полета, когда уменьшение скорости сопровождается увеличением потребной мощности.

Торможение вертолета начинают плавным отклонением рычага «шаг — газ» вниз и ручки управления на себя. При этом вертолет переходит на положительный угол тангажа, а НВ — на положительный угол атаки. Это позволяет при уменьшенном общем шаге сохранить значение тяги НВ, потребное для обеспечения заданной высоты полета и создания тормозящей силы непосредственно для торможения. **Вследствие известной статической неустойчивости НВ по углу атаки торможение скорости при увеличении угла тангажа осуществляется обычно весьма эффективно, так как вертолет сам стремится еще больше увеличить углы атаки НВ и тангажа. Эта способность вертолета требует от пилота повышенного внимания к координации своих управляющих действий.** Кроме того, при резком взятии ручки управления на себя и отклонении рычага «шаг — газ» вниз НВ быстро «облегчается», потребная для его вращения мощность интенсивно уменьшается, что может вызвать недопустимое превышение частоты вращения НВ. Опасно резкое торможение при скорости, близкой к максимальной, большой высоте или низкой температуре наружного воздуха (т. е. пониженных значениях скорости звука). В этих условиях при недопустимой раскрутке НВ число М на конце опережающих лопастей может достигнуть критических значений, т. е. концевые сечения опережающих лопастей окажутся в зоне волнового кризиса. В свою очередь образование зоны волнового кризиса на НВ вызовет тряску и уменьшение эффективности управления вертолетом. При полете на большой скорости и высоте это может быть воспринято экипажем как нарушение управляемости, отказ авиатехники.

Поэтому, чтобы не превысить ограничения по максимально допустимой частоте вращения НВ, перемещать органы управления при торможении следует плавно (в течение 4 ... 6 с).

Для сохранения допустимой вертикальной скорости снижения 3 м/с и номинальной частоты вращения НВ отклонению ручки управления на себя для гашения поступательной скорости должно сопутствовать соразмерное перемещение рычага «шаг — газ» вверх для увеличения общего шага НВ и мощности двигателей. В связи с повышенным временем приемистости вертолетных турбовальных двигателей указанные движения рычагами управления должны быть весьма координированными и плавными, а сам процесс предпосадочного торможения должен начинаться заблаговременно, примерно со скорости 80 км/ч.

Рис. 7



Ограничение вертикальной скорости снижения 3 м/с при заходе на посадку исключает возможность попадания вертолета в опасный режим вихревого кольца. Эта опасность реальна только при малых поступательных скоростях, т. е. область режимов полета с характерными явлениями вихревого кольца определяется сочетанием поступательной и вертикальной скоростей.

Режим вихревого кольца возникает при интенсивном вертикальном или крутом снижении вертолета с работающими двигателями **в результате взаимодействия нисходящего потока НВ и набегающего на НВ встречного воздушного потока**. На некотором расстоянии под НВ индуктивная скорость становится равной скорости вертикального снижения вертолета. При этом образуется некоторая поверхность раздела, по которой происходит растекание струй воздуха. Достигая этой поверхности, индуктивный поток как бы «останавливается», затем поворачивает навстречу НВ, частично снова засасывается винтом и снова отбрасывается им вниз. При увеличении скорости снижения вертолета поверхность раздела потоков приближается к НВ, в результате чего все большее количество воздуха вовлекается в циркуляционное движение вокруг НВ. При некоторой критической скорости снижения почти весь отбрасываемый винтом воздух снова подсасывается им и участвует в циркуляционном движении — наступает режим вихревого кольца (рис.7).

Поскольку из замкнутой вихревой системы воздух не выбрасывается, подъемная сила лопастей на периферийной части ометаемой поверхности НВ не создается, так что общая сила тяги НВ уменьшается. При этом вертикальная скорость снижения вертолета еще более возрастает, что, в свою очередь, усугубляет развитие вихревого кольца.

Режим вихревого кольца практически проявляется в повышенной тряске корпуса вертолета, колебаниях частоты вращения НВ и турбокомпрессоров двигателей, ухудшении управляемости, увеличении расходов органов управления для удерживания заданного режима снижения, самопроизвольных бросках вертолета по крену, тангажу и курсу. **Наиболее опасное проявление этого режима — самопроизвольное снижение вертолета, который «проваливается», несмотря на достаточную для полета мощность двигателей.**

Для вывода вертолета из режима вихревого кольца необходимо плавно отклонить рычаг «шаг—газ» вверх и ручку управления от себя, при этом вертолет разгоняется и

уменьшает вертикальную скорость снижения. Не следует, однако, отклонять рычаги управления чрезмерно резко, так как это может вызвать перегрузку НВ и еще больше усугубить ситуацию.

Достигнув высоты 8...5 м дальнейшим плавным отклонением ручки управления на себя и рычага «шаг — газ» вверх следует выполнить зависание на высоте 2 ... 3 м. После этого движением ручки от себя нужно придать вертолету посадочный угол тангажа, сбалансировать его по тангажу, крену и курсу. Наконец, плавным движением рычага «шаг — газ» вниз выполнить вертикальное снижение с конечной скоростью не более 0,2 м/с и аккуратное приземление.

Посадка, как и взлет, возможна двумя основными способами:

- по-вертолетному — без пробега по земле с предварительным зависанием над местом приземления на заданной высоте и последующим вертикальным снижением до приземления;
- по-самолетному — с приземлением на заданной поступательной скорости и последующим пробегом.

При любых способах захода на посадку и ее выполнения, определяемых конкретными полетными условиями, необходимо соблюдать одно общее важное требование — заходить на посадку по возможности против ветра. Это увеличивает запасы вертолета по мощности двигателей, продольному и путевому управлению и в целом способствует повышению безопасности выполнения посадки.

Кроме отмеченных основных способов посадки вертолета с работающими двигателями, возможны также посадка с одним работающим двигателем и с выключенными двигателями на режиме самовращения НВ. Такие посадки относятся к особым случаям полета.

Приземление вертолета выполняют всегда на основные опоры.

После касания основными опорами земли следует вначале уменьшить общий шаг НВ до минимального значения, а затем отклонением ручки управления от себя опустить переднюю опору. Если же сразу после приземления отпустить ручку управления от себя для опускания передней опоры, вертолет покатится вперед во «взвешенном» состоянии, что может вызвать его опрокидывание.

В заключение кратко рассмотрим посадку в режиме авторотации (самовращения НВ). Режим самовращения играет важную роль в обеспечении безопасности полетов, ибо на этом режиме выполняют снижение и вынужденную посадку вертолета при отказах двух двигателей, системы путевого управления и в некоторых других аварийных ситуациях.

Самовращением (авторотацией) называется такой режим работы НВ, когда для его вращения, создания силы тяги и пропульсивной силы используется энергия не двигателей вертолета, а набегающего на НВ воздушного потока.

При возникновении аварийной ситуации, требующей перевода вертолета на режим самовращения НВ, пилот должен незамедлительно отклонить рычаг «шаг — газ» вниз до упора. Вообще, самовращение НВ обеспечивается не только соответствующим направлением, но и значением подъемной силы сечений лопастей. Поэтому существует минимальное значение коэффициента силы тяги несущего винта, при котором еще возможен режим самовращения при положении рычага «шаг—газ» на нижнем упоре.

При недопустимом увеличении частоты вращения НВ следует соразмерно увеличить общий шаг - «нагрузить» НВ.

Непосредственно перед приземлением вертолета важно сохранить частоту вращения НВ ближе к верхнему пределу, чтобы использовать энергию вращения НВ для резкого кратковременного увеличения общего шага («подрыва») НВ и уменьшения вследствие этого вертикальной скорости приземления. После «подрыва» НВ и снижения вертикальной и горизонтальной скоростей можно осуществить приземление.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТОЛЕТОМ.

При пилотировании вертолета пилоту необходимо учитывать некоторые характеристики систем управления – скорость реакции управления (запаздывание), мощность управления, все это складывается в общую эффективность управления.

Мощность управления определяется значением максимального управляющего момента, создаваемого при отклонении рычага управления от нейтрального положения до упора. У серийных российских вертолетов конструктивный диапазон отклонения автомата перекоса в продольной плоскости составляет $11...13^\circ$ (предельное отклонение вперед $6...7^\circ$, назад $5...6^\circ$), в поперечной плоскости — $7...10^\circ$ (предельное отклонение вправо и влево по $3,5...5^\circ$); конструктивный диапазон изменения углов установки лопастей РВ составляет около 30° .

Нейтральное положение рычагов управления зависит от скорости и высоты полета, продольной и вертикальной центровки вертолета. Кроме того, полетная масса и режим полета вертолета оказывают влияние на значение равнодействующей аэродинамической силы НВ, отклонение которой создает продольный и поперечный управляющие моменты.

Таким образом, мощность управления существенно зависит от эксплуатационных параметров (полетной массы и центровки) и режима полета (скорости и высоты). Для того чтобы парировать воздействие на вертолет возмущений от атмосферной турбулентности и иметь возможность изменения в необходимых пределах положения вертолета в пространстве на всех эксплуатационных режимах полета, необходимо обеспечить достаточный запас управления, т. е. ход рычагов управления от балансирующего положения до упора. Для условий полета на предельных режимах с предельно передней или задней эксплуатационной центровкой относительный запас управления по всем каналам должен составлять не менее 20 %.

Мощность и запасы управления непосредственно связаны с обеспечением безопасности полетов вертолетов — чем они больше, тем легче выйти из опасного режима полета, создаваемого ошибкой в пилотировании, воздействием на вертолет интенсивного внешнего возмущения, отказом силовой установки или другой бортовой системы.

Запаздывание в управлении характеризуется временем от начала отклонения рычага управления до начала изменения положения вертолета в пространстве или (и) режима его полета. Это запаздывание определяется главным образом динамическими свойствами НВ. В продольном управлении запаздывание несколько больше, чем в поперечном. Запаздывание в путевом управлении, определяемое динамическими свойствами РВ, практически не ощущается при пилотировании вертолета.

Для улучшения качества и быстродействия процесса управления пилот при пилотировании вертолета обычно компенсирует запаздывание упреждающими движениями ручки управления. Это означает, что ручка управления отклоняется в нужном направлении несколько больше, чем требуется для балансировки вертолета на новом режиме полета, и затем еще в процессе возмущенного движения вертолета плавно возвращается к балансирующему положению. Такой двойной упреждающий характер перемещения ручки, обусловленный главным образом запаздыванием в управлении, характерен для пилотирования устойчивых или слабонеустойчивых вертолетов.

Если же вертолет имеет достаточно выраженную неустойчивость возмущенного

движения, управление им существенно усложняется, требуя уже не одного, а серии двойных упреждающих движений ручки управления. Например, для уменьшения угла тангажа вертолета необходимо вначале отклонить ручку от себя, затем, не дожидаясь наклона вертолета на требуемый угол, переместить ручку на себя за исходное балансировочное положение для ограничения быстро нарастающего вращения вертолета по тангажу. Как только вертолет прекратит это вращение, ручку вновь отклоняют от себя в новое балансировочное положение, промежуточное между исходным балансировочным положением и последующим отклонением.

Точная дозировка подобных управляющих движений затруднительна. Кроме того, неустойчивый вертолет обычно «проскакивает» требуемое значение своего углового положения, определяемое управляющими действиями пилота. Поэтому для повышения точности управления неустойчивым вертолетом практически необходима серия небольших двойных движений ручки, что в целом усложняет пилотирование. При одинаковых угловых ускорениях и скоростях тангажа нормальная перегрузка, действующая на кресло пилота на тяжелых вертолетах выше, чем на легких. Поэтому, пилотируя тяжелый вертолет, пилот физиологически в большей мере ощущает результаты своих управляющих действий, что как бы повышает чувствительность управления. Вместе с тем чрезмерно высокая чувствительность управления нежелательна, так как может вызывать раскачку, «разбалтывание» вертолета при пилотировании. Поэтому на легких вертолетах важно обеспечить хорошее демпфирование при умеренной эффективности управления.

Часть 1. УСТРОЙСТВО ВЕРТОЛЕТА

Часть 3. БОЕВЫЕ ВЕРТОЛЕТЫ

Автор: КОВАЛЕВ М. В.
shkval.rossteam.ru