

# **РЕЖИМ ВИХРЕВОГО КОЛЬЦА**

Методическое пособие пилотам вертолета

Robinson R44

# РЕЖИМ ВИХРЕВОГО КОЛЬЦА

## 1. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВИХРЕВОГО КОЛЬЦА.

Вынужденные длительные вертикальные снижения на малых поступательных скоростях выполняются в условиях граничащих с ВК или даже в его пределах. Этот режим изучен мало и плохо, в основном из-за необоснованного страха перед ним. При этом нужно отметить, что на заре развития вертолетостроения об особенностях ВК не знали и использовали опасные сочетания вертикальных снижений и поступательных (воздушных) скоростей в тактических целях. Позже, после ряда летных происшествий началось его изучение, но из-за недостаточно продуманных методик анализа результаты тоже оказались неутешительными. Все это и породило устойчивую неприязнь к данному режиму. Современная инструкция по технике пилотирования предписывает, что при приборной скорости полета 50 км/ч и менее скорость снижения не должна быть более 3 м/с. Это значит, что при потребных длительных снижениях и частых циклических их повторениях случаи попадания в ВК будут нередкими. Тем более, что в горных условиях возможно появление местных восходящих воздушных потоков силой более 5 м/с, которые способны образовать вихрь относительно несущего винта и без каких-либо ошибок со стороны летчика. Кроме того, в ВК можно легко оказаться после энергичного торможения до зависания на высотах более 20 метров, когда из-за раскрутки несущего винта двигатель уходит на режим малого газа и не может обеспечить потребной мощностью энергично зависший вертолет. Начинается самопроизвольное вертикальное снижение, а запоздалая взлетная мощность двигателя не может исправить ситуацию. При таком же торможении на меньших высотах из-за близости земли ВК развиваться не успевает. Во всяком случае, вертолет после самопроизвольного снижения зависает на высоте 3-5 м.

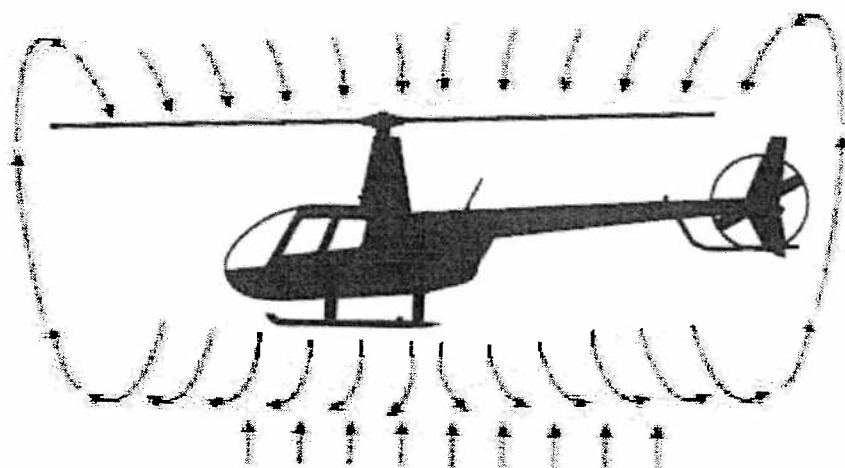
## 2. ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ.

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.

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.

### **3. ФАКТОРЫ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЮ РЕЖИМА ВИХРЕВОГО КОЛЬЦА. ДЕЙСТВИЯ ЛЁТЧИКА.**

Чтобы правильно действовать при попадании в ВК и гарантировать безопасность летчику и машине, нужно хорошо представлять физическую модель этого образования и особенности поведения в нем вертолета. Для этого достаточно знаний на уровне средней школы, некоторых знаний по аэродинамике, определенного практического опыта, но, главное, нужна привычка постоянно анализировать ситуацию. Конечно, все это не оградит летчика от случайного попадания в ВК, что может произойти и без каких-либо нарушений и ошибок в технике пилотирования. Эти знания и практические навыки нужны летчику для того, чтобы, случайно попав в неблагоприятный режим, не растеряться и действовать правильно. «Вихревое кольцо» - инертное, достаточно замкнутое вихревое движение молекул воздуха, симметричное относительно оси несущего винта вертолета, снижающегося вертикально со скоростью 5-16 м/с. При этом энергия всей вращающейся массы воздуха соизмерима с энергией снижающегося вертолета. От момента зарождения ВК до его полного формирования и появления специфического влияния на поведение вертолета проходит 5-6 секунд. Это время примерно характеризует меру инертности процесса образования вихря. Поэтому в момент зарождения вихря вертолет по воле летчика еще может перемещаться в боковом и продольном направлении относительно

этого образования и занимать в нем более безопасную позицию. По вертикали положение определяется величиной вертикальной скорости снижения (от 5 м/с - верхняя граница вихря, до 16 м/с - нижняя граница). Физически вертолет не может преодолеть только верхнюю границу из-за потребных для этого огромных мощностей двигателей. При смещении вбок, вперед или назад выход из вихря возможен (с большим общим шагом), но приведет (особенно на границе) к значительному хаотичному перемещению лопастей несущего винта (отклонению от соконусности). Причиной этого является относительное перемещение вертолета по области с различными по величине и направлению векторами скоростей воздушных струй. При этом летчик ощутит повышенную вибрацию и значительное сопротивление вихря при попытке вертолета выйти из него. Вихрь способен активно удерживать машину в своем центре и снижать высоту его зависания, если летчик не будет заранее уметь правильно и энергично действовать. Из-за резкого изменения направления потока воздуха с нисходящего на восходящий на боковой границе вихря на лопастях могут возникнуть закритические углы атаки и, как следствие, срыв потока с падением оборотов несущего винта. Поэтому выход из вихря с большим общим шагом принципиально НЕДОПУСТИМ. Медленный выход вниз только за счет плавного уменьшения общего шага приведет на нижней границе (14-16 м/с) к очень неустойчивому поведению вертолета, «выталкиваемого» вихрем в какую-либо сторону за пределы кольца с последующим снижением. При этом поведение лопастей также неустойчиво, возможно уменьшение оборотов и приближение к границам срыва на лопастях из-за попадания несущего винта в сильный восходящий воздушный поток. В этом случае возможно и отклонение от соконусности, и вибрация. Такой выход тоже НЕДОПУСТИМ. Кроме того, за нижней границей вихревого кольца при вертикальных снижениях с большими скоростями (17-25 м/с) энергичное увеличение общего шага обязательно приведет к закритическим углам атаки на лопастях нижнего винта и глубокому срыву потока на них. Это повлечет энергичный разворот вертолета вправо, падение оборотов несущего винта, резкое (до  $70^\circ$  за одну секунду) увеличение тангажа на пикирование из-за ослабления индуктивного потока и начала обтекания стабилизатора в направлении снизу вверх. Энергичное изменение тангажа на пикирование с полностью взятой на себя ручкой управления создает условие для соударения лопастей нижнего винта с хвостовой балкой и мощного прецессионного встречного сближения лопастей справа. Летная практика демонстрирует недопустимость необдуманного увеличения общего шага при энергичных вертикальных снижениях без «косой обдувки» как на боковых границах ВК, так и за его пределами. В подобных случаях прежде всего необходимо «толкнуть» ручку управления вперед. Вместе с тем, высокий режим работы двигателей быстро насыщает замкнутую систему вихря отработанным газом, который, попадая на вход двигателей, вызовет их неустойчивую работу.

1. На малых скоростях полета при неустойчивом поведении стрелки указателя скорости (менее 35 км/ч) попадание в ВК легко определяется по самопроизвольному увеличению вертикальной скорости снижения до 7-8 м/с (летчик даже физически хорошо чувствует несанкционированное «проваливание» вертолета), по исчезновению привычной реакции вертолета на увеличение общего шага и по ощущению уменьшения эффективности ручки управления. Если в этот момент вертолет находится в центре вихревого образования, то увеличения вибрации и нарушения соконусности лопастей может и не быть. Тем не менее, после определения и уточнения ситуации оставаться в ВК даже на больших высотах НЕДОПУСТИМО. Летчик, должен вовремя определить возникновение опасного режима и необходимый порядок действий.

2. Если в самом начале самопроизвольного «проваливания» на вертикальных скоростях 5-6 м/с летчик слегка изменит тангаж на пикирование (на  $5-10^\circ$ ) и одновременно сбросит общий шаг (на  $3-5^\circ$ ), то вихрь легко отступает. Если режим развился до  $V_y = 7-12$  м/с, необходимо одновременно и энергично сбросить общий шаг примерно на  $2/3$  от исходного положения, а ручкой управления создать тангаж  $25-30^\circ$  на

пикирование. Через 2-3 секунды ручкой управления вернуть вертолет в исходное положение и скорректировать поступательную скорость (выйти на режим устойчивого поведения стрелки указателя скорости, то есть  $V_{\text{приб.}} > 35 \text{ км/ч}$ ), а общим шагом установить необходимую вертикальную. Минимальная приборная скорость полета при снижении более  $3 \text{ м/с}$  должна составлять  $50 \text{ км/ч}$ . При этом стрелка указателя скорости находится в очень неустойчивом положении, что требует большой и не всегда оправданной концентрации внимания летчика на приборах. Поэтому минимально допустимой целесообразнее считать скорость  $35 \text{ км/ч}$  при которой положение стрелки прибора становится устойчивым, что отлично видно и боковым зрением. Образование ВК на этой скорости при любых вертикальных скоростях невозможно. В общем, если  $V > 3 \text{ м/с}$ , а стрелка указателя скорости стала неустойчивой, что не увидеть невозможно, то, не дожидаясь усложнения ситуации, нужно незамедлительно выполнить действия, рекомендованные для выхода из начальной стадии «вихревого кольца». Данный выход из вихря вниз очень результативен, протекает без трясок, опасного сближения лопастей и снижения эффективности управления. При этом потеря высоты на выводе за счет сокращенного времени процесса сравнительно небольшая.

3. Если при снижении вертолета в ВК текущая высота покажется летчику уже недостаточной для благополучного выхода, но будет еще больше  $25 \text{ м}$ , необходимо энергично создать тангаж на пикирование  $20-25^\circ$  с одновременным сбросом общего шага на  $1/2$  оставшегося хода. Через 1 секунду необходимо увеличить общий шаг до взлетной мощности, а движением ручки управления на себя со скоростью, соразмерной скорости приближения земли, уменьшать тангаж на пикирование до прекращения снижения. С увеличением скорости перейти в набор высоты. Энергичное уменьшение тангажа со снижением приведет к немедленному разрыву замкнутости вихря и изменению направления воздействия нисходящей части вихревого потока на лопасти. Кроме того, мгновенно возникает «косая обдувка» несущего винта, которая вместе с кратковременным сбросом общего шага обеспечивает большой исходный запас по срыву. К моменту увеличения общего шага увеличивается мощность и интенсивность «косой обдувки», а управление вертолетом быстро становится нормальным.

4. Если текущая высота уже менее  $20 \text{ м}$ , на уменьшение тангажа и набор скорости времени нет, а  $U$  не более  $2 \text{ м/с}$  что зависит от положения рычага общего шага, то на высоте  $15-10 \text{ м}$  соразмерно скорости сближения с землей следует выполнить энергичное и полное, насколько позволяет бустер, увеличение общего шага («подрыв»). Чтобы эта рекомендация стала более понятной, необходимо небольшое разъяснение. В центре ВК происходит обтекание несущего винта интенсивным сформировавшимся потоком в направлении сверху вниз. При этом плавное увеличение общего шага приводит к увеличению скорости протекания потока через винт, что через несколько секунд, когда скорость потока увеличится по всему вихрю, уменьшит угол атаки суммарного набегающего на лопасти потока. В этом случае больше увеличивается скорость вращения вихря и его объем, а не углы атаки лопастей и тяга несущего винта. Поэтому общий шаг и неэффективен, а углы атаки лопастей весьма далеки от критических. Иное дело, когда общий шаг увеличивается энергичным и полным «подрывом». В этом случае инерция воздушной массы вихря не может сразу освоить резкий приток значительной энергии и превратить ее в увеличенную скорость потока. Для этого понадобилось бы 5-6 секунд. Поэтому сразу же за «подрывом» начнется энергичное уменьшение вертикальной скорости. Скорость сближения с землей будет неуклонно уменьшаться по мере увеличения влияния воздушной подушки и разрушения ВК. Энергичное уменьшение вертикальной скорости сопровождается появлением значительной, непривычной для вертолетчиков, вертикальной перегрузки, бояться которой не следует. К тому же это единственный способ резкого снижения вертикальной скорости на малой высоте. Но следует иметь в виду, что при этом углы атаки лопастей будут энергично и самопроизвольно приближаться к закритическим. Срыв потока на лопастях до касания

земли неизбежно приведет к неблагоприятному исходу. Чтобы этого не произошло после энергичного и полного взятия общего шага ни в коем случае нельзя допускать уменьшения оборотов несущего винта более чем на 3% от равновесных. Иными словами, несмотря на быстрое сближение с землей, нужно своевременно и расчетливо начать уменьшение общего шага, но в пределах положения, потребного для висения. Критерием правильности текущих действий является сохранение и, если это возможно, увеличение вертикальной перегрузки, величину и динамику которой летчик хорошо ощущает сам. При самопроизвольном увеличении углов атаки лопастей (наличие воздушной подушки, разрушение ВК) перегрузка будет автоматически возрастать или сохраняться до тех пор, пока углы атак не достигнут величин, близких к закритическим. Этот момент можно использовать как сигнал для энергичного частичного уменьшения общего шага. На высоте 3-2 метра при среднем полетном весе, вертолет зависнет. Если полетный вес близок к максимальному, возможно безопасное для экипажа и вертолета приземление. Разумеется, если еще и площадка для этого окажется достаточно пригодной. Запоздалые и нерешительные действия могут привести к тому, что на малой текущей высоте полета вертолет окажется на боковой границе ВК (возникнет тряска, отклонение от соконусности). «Подрыв» общего шага в этом случае обязательно приведет к срыву на несущий винт. Приняв решение приземляться вертикально, нельзя перед «подрывом» общего шага действовать ручкой управления, поставленной в «нейтраль». Вертолет сам быстро (за 2-3 с) окажется в центре ВК, где «подрыв» будет безопасным. Знать физику ВК - это значит знать и способы безопасных выходов из него. Только тогда можно не опасаться этого режима. Только после этого летчик сможет грамотно выполнить заход, а при случайных попаданиях в вихрь спокойно и расчетливо действовать. Необходимо заметить что на малых скоростях полета (от 35 до 80 км/ч) и при вертикальной скорости снижения более 8м/с значительно ухудшается эффективность традиционного путевого управления. Этот недостаток легко компенсируется с помощью поперечного управления путем создания кренов (2-3°) в сторону желаемого (или против самопроизвольного) разворота.

#### 4. РЕКОМЕНДАЦИИ.

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.

Учет этих моментов позволяет достаточно безопасно расширять зону ограничений на управление вертолетом при вертикальном маневрировании и оптимизировать действия летчика при непроизвольном попадании за пределы этих ограничений. Нужно помнить что, попав в критическую ситуацию, какой является и режим ВК, летчик вынужден действовать при остром дефиците времени. Для того, чтобы действия его были точными и эффективными, нужно не только изучение физики явления и наиболее вероятных причин летных происшествий, которые случаются «на исправной матчасти», но и предварительное доскональное изучение предстоящих полетных заданий с последующим анализом возможных «сценариев» его выполнения. В этом залог не только эффективности действий летчика вертолета, но и условие безопасности полетов.