

ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ФИГУР СЛОЖНОГО ПИЛОТАЖА НА ВЕРТОЛЕТЕ МИ-2

Современные вертолеты благодаря высокой энерговооруженности и эффективности управления обладают довольно высокими маневренными характеристиками, что позволяет выполнять им фигуры сложного пилотажа. С ростом летного мастерства и освоением маневренных возможностей вертолетов на минимальных и максимальных скоростях полета разрабатываются новые фигуры пилотажа и маневры.

Расчеты показывают, что вертолет Ми-2 позволяет выполнить следующие фигуры сложного пилотажа, не выходя за эксплуатационные ограничения вертолета:

- виражи с креном $\gamma = 30^\circ$ на скорости $V = 180$ км/ч;
- виражи с $\gamma = 45^\circ$ на $V = 120$ км/ч (100 – 150 км/ч с весом $G \leq 3550$ кг);
- "Горка" с тангажом ν до 30° с $V = 150-180$ км/ч, $V_{\text{выб}}$ не меньше 50 км/ч;
- "Пикирование" с ν до 30° с $V = 50$ км/ч, $V_{\text{выб}} = 180$ км/ч;
- "Боевой разворот" с ν до 30° и γ , до $V = 150-180$ км/ч, $V_{\text{выб}} = 50-60$ км/ч;
- "Разворот на горке" - при этом $\nu = 30^\circ$ и γ до 30° , $V = 150-180$ км/ч, $V_{\text{выб}} = 50$ км/ч;
- "Поворот на горке" - ν до 30° , $V = 50-60$ км/ч, $\nu_{\text{пикир}}$ до -30° ;
- "Восьмерка" - на $V = 100-150$ км/ч, γ до 45° ;
- "Косой вираж" с $\gamma = 20^\circ$, ν до 20° , $V = 150$ км/ч, $\nu = -20^\circ$;
- "Вертушка" - вертикальный набор высоты H с одновременным вращением вертолета относительно вертикальной оси с угловой скоростью $\omega \leq 20^\circ/\text{с}$, $V_{\text{у наб}} = 4$ м/с;
- "Гусак" - $V = 150-180$ км/ч, с ν до 20° , $\nu_{\text{пикир}} = -20^\circ$, $V = 50-60$ км/ч;
- "Косая нисходящая спираль" - с $\gamma = 20^\circ$, $\nu = -20^\circ$, минимальной скоростью $V_{\text{мин}}$ с вертикальной скоростью снижения $V_{\text{у сн}} = 4$ м/с;
- "Воронка на нос" - $V_z = 40$ км/ч, $\nu_{\text{пикир}} = -20^\circ$;
- "Воронка на хвост" - $V_z = 40$ км/ч, $\nu = 20^\circ$.

Все перечисленные выше фигуры сложного пилотажа выполняются в диапазоне высот 15-100 м при соответствующем допуске к полетам на предельно малой высоте.

"Вертушка" – это фигура пилотажа, при которой вертолет вертикально набирает высоту с одновременным разворотом на 360° . Особенности выполнения. Вертолет за висает на $H = 2-3$ м, затем летчик отклоняет вперед левую педаль для создания угловой скорости вращения не более $20^\circ/\text{с}$ с одновременным увеличением общего шага несущего винта (ОШ НВ) до оборотов турбокомпрессора $n_{\text{тк}} = 90-92\%$, при этом обороты несущего винта $n_{\text{нв}}$ не менее 80%. Вертолет с вертикальной скоростью $V_z \approx 4-5$ м/с, враща-

яся вокруг связанной оси Y , набирает высоту 100-150 м. При выполнении фигуры вертолет вращается влево более энергично под действием момента реактивного несущего винта $M_{рнв}$. При даче левой педали уменьшается мощность, потребная на вращение рулевого винта (РВ), т.к. уменьшается угол атаки α РВ, и тем самым можно достичь большей V_y набора. Достигнув заданной высоты, летчик плавно переводит вертолет в "нисходящую расходящуюся спираль".

"Нисходящая расходящаяся спираль" – это фигура пилотажа, при которой вертолет снижается по спирали с постоянно увеличивающейся скоростью полета и радиусом разворота. Особенности выполнения. После окончания "Вертушки" летчик создает левый крен до 30° с одновременной отдачей ручки управления (РУ) от себя и незначительным уменьшением ОШ НВ переводит вертолет на разгон скорости, при этом V_y увеличивается до 4 м/с. Вертолет входит в спираль с одновременным разгоном V до 150 км/ч и снижением до $H = 15-30$ м. При этом летчик рассчитывает закончить фигуру и вывести вертолет в заданной точке (ориентире) на $H = 15-30$ м, $V = 150$ км/ч. $V_{y\text{сн}} = 0$. При этом обороты НВ выдерживаются в пределах 80-84%.

"Поворот на горке" – это фигуры пилотажа, при которой вертолет набирает высоту с постоянным углом наклона траектории и уменьшением V , последующим разворотом на 180° и переводом на пикирование. Особенности выполнения. После выхода в заданную точку (ориентир) летчик увеличивает ОШ НВ на $1-2^\circ$, взятием РУ на себя для создания v до 20° вводит вертолет в горку, при этом темп ввода 3-4 с. Ввод выполняется плавно, без резких движений. При этом у вертолета наблюдаются следующие тенденции: при достижении заданного тангажа вертолет продолжает его увеличивать из-за статической неустойчивости вертолета по углу атаки. Поэтому необходимо отдачей РУ от себя зафиксировать заданный угол и РУ отклонить вправо, предотвратив стремление вертолета накрениться влево (под действием момента гироскопического $M_{гир}$). По мере уменьшения V_y вертолета появляется тенденция на уменьшение тангажа, и летчику для сохранения заданного v необходимо придерживать РУ на себя.

При достижении $V = 40-50$ км/ч и $v = 20^\circ$ летчик отклоняет левую педаль. Вертолет начинает выполнять поворот на горке, при этом тангаж переходит в левый крен 20° , далее вертолет переходит на "пикирование" с $v = 20^\circ$. Ввод в поворот выполняется плавным отклонением педали и незначительным увеличением ОШ НВ для сохранения заданных оборотов НВ. При выполнении поворота вертолет имеет следующие тенденции: при повороте примерно на $70-90^\circ$ происходит увеличение V и появляется левый крен, т.к. имеется правое скольжение и конус НВ и тяга НВ отклоняются влево. Летчик придерживает РУ вправо; при развороте 180° вертолет стремится увеличить v на пики-

ровании из-за продолжающегося скольжения, летчик придерживает РУ на себя для сохранения заданного $v = 20^\circ$; при даче левой педали вертолет энергично разворачивается влево и при этом стремится увеличить угловую скорость вращения. Летчик заранее до выхода на заданный ориентир (точку) отклоняет правую педаль. Вертолет с $v = 20^\circ$ переходит на пикирование.

"Пикирование" – это фигура пилотажа, при которой вертолет снижается с постоянным углом наклона траектории с одновременным увеличением скорости полета.

Особенности выполнения. Рекомендуемые скорости ввода в пикирование 50-60 км/ч, v до 20° , темп ввода 3-4 с. При достижении $V = 120-170$ км/ч уменьшить ОШ НВ на $2-3^\circ$ и зафиксировать заданную V по достижении $H = 15-30$ м, перевести вертолет в горизонтальный полет (ГП) на $H = 15-30$ м, $V = 140-150$ км/ч. Тенденции вертолета на пикировании: с увеличением V полета вертолет стремится уменьшить v из-за неустойчивости вертолета по углу α . Поэтому летчик РУ от себя должен выдерживать заданный угол пикирования. В зависимости от величины v и V вывода из пикирования у вертолета наблюдается просадка, которую летчик должен учитывать и заранее брать РУ на себя с одновременным увеличением ОШ НВ, чтобы не допустить уменьшения высоты, меньше минимально допустимой, при этом обороты НВ выдерживаются в пределах 80-84%.

"Боевой разворот" – это фигура пилотажа, при которой вертолет энергично набирает высоту с одновременным разворотом на 180° . Боевой разворот представляет собой восходящую спираль с торможением без скольжения, форсированный разворот – с набором высоты. Боевой разворот выполняется с режима ГП: $H = 15-30$ м, $V_{\text{ввода}} = 180-150$ км/ч, $v = 20^\circ$. Перед вводом в боевой разворот летчик плавно отклоняет вертолет влево или вправо от оси полосы (ориентира) на $10-15^\circ$, увеличивает ОШ на $2-3^\circ$, плавно берет РУ на себя для создания $v = 20^\circ$ и плавно создает правый крен до 20° . Вертолет энергично набирает высоту и одновременно разворачивается на 180° . За $30-40^\circ$ до намеченного ориентира (точки) летчик отдает РУ от себя и увеличивает ОШ на $2-3^\circ$, не допуская раскрутки оборотов НВ, при этом скорость вывода не должна быть менее 50 км/ч. После разворота вертолета на 180° и выхода на заданный ориентир летчик переводит вертолет на пикирование с одновременным уменьшением ОШ. Тенденции вертолета при выполнении боевого разворота аналогичны тенденциям при выполнении горки.

"Восьмерка" – это фигура пилотажа, при которой вертолет последовательно выполняет два правильных виража с углами крена разных знаков. Выполняется на $H = 15-30$ м, $V = 120-150$ км/ч, $\gamma = 45^\circ$. После установления заданного режима и занятия оси полосы (ориентира) летчик плавно вводит вертолет в левый (правый) вираж, установив

заданный $\gamma = 45^\circ$ с одновременным увеличением ОШ НВ. При этом у вертолета имеются следующие тенденции: при вводе в левый вираж вертолет стремится опустить нос (пикировать) и увеличить крен ($M_{ГПР}$) и момента реактивного рулевого винта; при вводе в правый вираж вертолет стремится задрать нос (на кабрирование), уменьшить V , снижается, увеличить γ . Особенно данные тенденции проявляются в большей степени при энергичном переходе из левого виража в правый и, наоборот, с углами крена $30-45^\circ$. Если этого не учитывать, особенно при выполнении пилотажа на предельной малой высоте, то одновременно с координированным отклонением РУ и педали в сторону правого виража необходимо для сохранения v , V и H придерживать РУ от себя и влево; на левом вираже придерживать на себя влево.

"Гусак" – это фигура пилотажа, при которой вертолет горкой набирает высоту с постоянным углом наклона траектории с последующим переводом его на пикирование после выполнения горки. Условия выполнения: $H_{П} = 15-30$ м, $V_{ВВОДА} = 150-180$ км/ч, $v = 20^\circ$, темп ввода $3-4^\circ$ /с. Перед вводом увеличивается ОШ НВ на $2-3^\circ$. РУ на себя, $v = 20^\circ$. По достижении $V = 60-70$ км/ч (но не менее 50 км/ч) РУ отклонить от себя с увеличением ОШ НВ в целях недопущения снижения $n_{НВ}$. Летчик переводит вертолет на пикирование с созданием v до 20° . По достижению $V = 150$ км/ч с увеличением ОШ НВ для фиксирования заданной скорости и уменьшения V_y снижения. Тенденции вертолета аналогичны ранее рассмотренным при выполнении "Горки" и "Пикирования".

"Воронка на хвост" – это фигура пилотажа, при которой вертолет выполняет воронку с $v = 20^\circ$, $V = 40-50$ км/ч, со скольжением влево. Условия: боковая скорость V_Z влево равна $40-50$ км/ч, $v = 20^\circ$, $H = 15$ м. После выхода в заданную точку на заданной H и V , летчик увеличивает v до 20° взятием РУ на себя с одновременной дачей правой педали на $2/3$ хода, увеличивает ОШ НВ, не допуская снижения вертолета, отклоняет РУ влево для создания $V_{Zн} = 40-50$ км/ч. Тенденции вертолета: стремится развернуться влево и уменьшить v (влияние стабилизатора из-за уменьшения кабрирующего момента), увеличить $M_{РВ}$ за счет большого отклонения правой педали). Вертолет стремится уменьшить радиус разворота и переместиться к центру воронки, это стремление необходимо парировать своевременным отклонением правой педали.

"Воронка на нос" – это фигура пилотажа, при которой вертолет вращается вокруг оси, вынесенной на 2 диаметра впереди, и с одновременным вращением вокруг собственной оси Y . По своей сути "воронка на нос" – это управляемый плоский штопор вертолета с искусственно, созданным летчиком отрицательным углом тангажа примерно равным -20° . После выполнения "Воронки на хвост" летчик плавно отклоняет левую

педаль, придерживая РУ на себя и вправо, и переводит вертолет в "Воронку на нос", сохраняя при этом заданную высоту ОШ НВ $H = 15-20$ м, $V_{Z\text{ ПР}} = 40-50$ км/ч, $\nu_{\Pi} = -20^{\circ}$. При этом вертолет стремится развернуться вправо из-за увеличенной тяги РВ. Летчик, отклоня левую педаль, парирует эту тенденцию, удерживая нос в направлении ориентира; вертолет стремится наклониться влево – из-за скольжения вправо. Летчик своевременно придерживает РУ вправо, сохраняя $\gamma = 0$; вертолет стремится опустить нос (пикировать) – из-за уменьшения $M_{\text{КАБРИР}}$ от стабилизатора. Летчик постоянно придерживает РУ на себе: вертолет стремится уменьшить H из-за увеличенного ν на пикировании. Летчик увеличением ОШ НВ устраняет данную тенденцию.

Все фигуры пилотажа могут выполняться в комплексе по программе показа или программы соревнований спортсменов международного класса.