

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ЛЕТЧИКА: СТЕПЕНЬ СООТВЕТСТВИЯ ХАРАКТЕРУ ЕГО ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОЛЕТОВ



Алексей ЗЕМЛЯНОЙ,*
заслуженный летчик-испытатель РФ

Окончание, начало – в №6-2017

Справка об авторе. Земляной Алексей Федорович*. На летной работе более 30 лет, из них 24 – в качестве летчика-испытателя (10 лет – в НИИ ВВС, а затем старшим летчиком-испытателем НАЗ «Сокол»). Участвовал в госиспытаниях модификаций самолетов Су-25 и Су-27, заводских испытаниях МиГ-31М и опытного самолета-амфибии, а также практически во всех видах специальных летных испытаний военных и гражданских самолетов различных типов. Получил обширный опыт инструкторской работы. Летная практика включает более 40 типов и модификаций самолетов: от легких спортивных (Як-52, Як-55) до транспортных самолетов 2-го класса. Руководил проведением сертификационных работ и летных испытаний в НПО, занимающемся проектированием, постройкой и испытаниями легких гражданских самолетов нормальной категории.

В случае же использования обратной индикации¹ для инструментального отображения пространственного положения самолета летчик для того, чтобы считывать инструментальную информацию по углу крена, переходит на использование «кабинной» системы отсчета, то есть системы, направления горизонтальной и вертикальной осей которой совпадают с направлениями соответствующих осей этого пространства (и фиксированы в нем).

Причина этого – в принципе функционирования такой индикации. Обозначенная специальными метками на

шкале крена и соответствующая нулевой величине этого параметра линия искусственного горизонта привязана к горизонтальной оси пространства кабины (поперечной оси связанной системы координат), а не, как при прямой индикации, к естественному горизонту, то есть не к горизонтальной плоскости внекабинного пространства. А информация об угле крена отображается за счет поворота силуэта самолета относительно искусственного горизонта (рис. 6а).

И так как положение летчика в кабине также

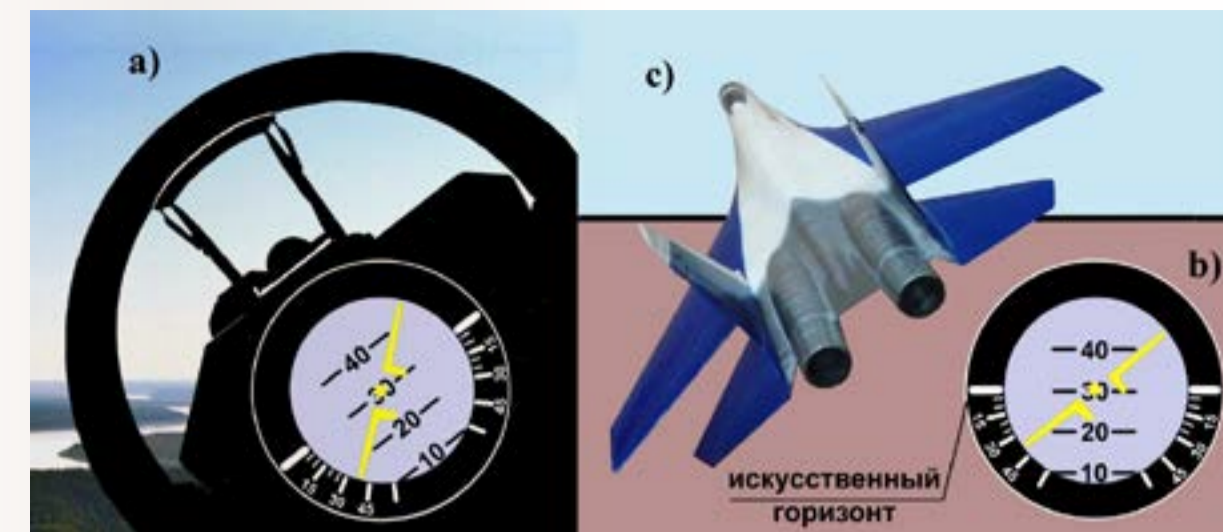


Рис. 6. Структура пространственного образа-представления, формируемого в визуальном полете при одновременном использовании для этого информации при наблюдении внекабинного пространства и инструментальной информации при обратной индикации крена.

зафиксировано (направление вертикальной оси его тела совпадает с направлением вертикальной оси пространства кабины), то неподвижная относительно него визуально наблюдаемая инструментальная модель горизонта воспринимается *неподвижной*. К ней и привязывается система отсчета для считывания информации по крену. При этом силуэт самолета (инструментальная модель управляемого объекта) будет наблюдаться и восприниматься как изменяющий свое положение по крену относительно воспринимаемой и наблюдаемой, как неподвижная, инструментальной модели горизонта (рис. 6б) и в том же направлении, в котором отклонен рычаг управления.

А что же со считыванием информации по углу тангажа при такой «смешанной» индикации? Ведь динамика изменения этого параметра отображается за счет поворота изображения «неба-земли» с нанесенной шкалой тангажа относительно неподвижного силуэта самолета (точнее, его центрального элемента). Адекватное восприятие смысла этой информации не вызывает затруднений. При переключении внимания на считывание информации по этому параметру зрительная система для обеспечения необходимой точности начинает функционировать в режиме так называемого центрального зрения. В соответствии с этим режимом поле зрения самопроизвольно уменьшается до величины телесного угла, порядка 3°. Иными словами, из-за того что внимание сосредоточивается на силуэте и при этом из поля обзора исключаются элементы интерьера кабины, обозначающие «кабинную» систему отсчета, он, при считывании информации по тангажу, также воспринимается и наблюдается как *подвижная фигура*. Таким образом, обеспечиваются как необходимая точность при считывании количественной информации по углу тангажа, так и адекватный смысл восприятия динамики изменения взаимного положения силуэта и изображения «неба-земли» по данному параметру. И вследствие этого, а также с учетом смысла восприятия динамики изменения положения силуэта по крену структура формируемого пространственного образа-представления будет идентичной формируемой в визуальном полете за счет наблюдения внекабинного пространства (сравните рис. 2б и 6с).

Таким образом, при использовании для инструментального отображения пространственного положения самолета так называемой обратной индикации для

считывания информации по крену используется «кабинная» система отсчета, а для считывания информации по тангажу – система отсчета, привязанная к внекабинному пространству. Тем не менее, такая инструментальная модель пространственных отношений самолета и объектов внекабинного пространства воспринимается летчиком вполне адекватно, то есть в соответствии с реальностью. Структура формируемого на основании этой информации пространственного образа-представления полностью идентична таковой, формируемой в визуальном полете за счет наблюдения внекабинного пространства. И вследствие совпадения структур попеременное использование в визуальном полете для пространственной ориентировки такой инструментальной информации и наблюдения внекабинного пространства не вызывает противоречий и затруднений. А для регуляции действий рычагами управления используются *те же навыки, что и сформированные в визуальном полете*.

В приборном полете исходной информацией для формирования пространственного образа-представления может стать только смысл восприятия плоской двухмерной картины – визуально наблюдаемого образа лицевой части авиагоризонта (АГ) или экрана электронного индикатора (ЭИ), и динамики изменения структуры этого образа. Этот смысл зависит от вида индикации, а в случае использования прямой индикации – от способности летчика к пространственному мышлению.

Пространственное мышление – это частный случай наглядно-образного мышления. Применительно к пилотированию самолета в приборном полете его суть состоит в оперировании элементами пространственного образа-представления, структура которого формируется на основании восприятия инструментальной информации по углам крена и тангажа. Или, иными словами, в основе пространственного мышления летчика лежит моделирование пространственных отношений элементов этого образа (представлений самолета и внекабинного пространства) с целью принятия решений по действиям рычагами управления. Это моделирование включает как выполнение различных умственных операций с этими элементами во внутреннем умственном плане (сравнение и др.), так и оперирование ими (мысленное видоизменение структуры пространственного образа).

Способность летчика к пространственному мышлению характеризуется полнотой формируемого пространственного образа, а также широтой оперирования элементами его

* Публикации А.Земляного в журнале «Авиапанорама» читатели могут найти на сайте журнала.

¹ Как известно, при таком виде индикации изменяется только принцип отображения угла крена и динамики его изменения – за счет поворота силуэта самолета относительно искусственного горизонта. Индикация угла тангажа – прямая.

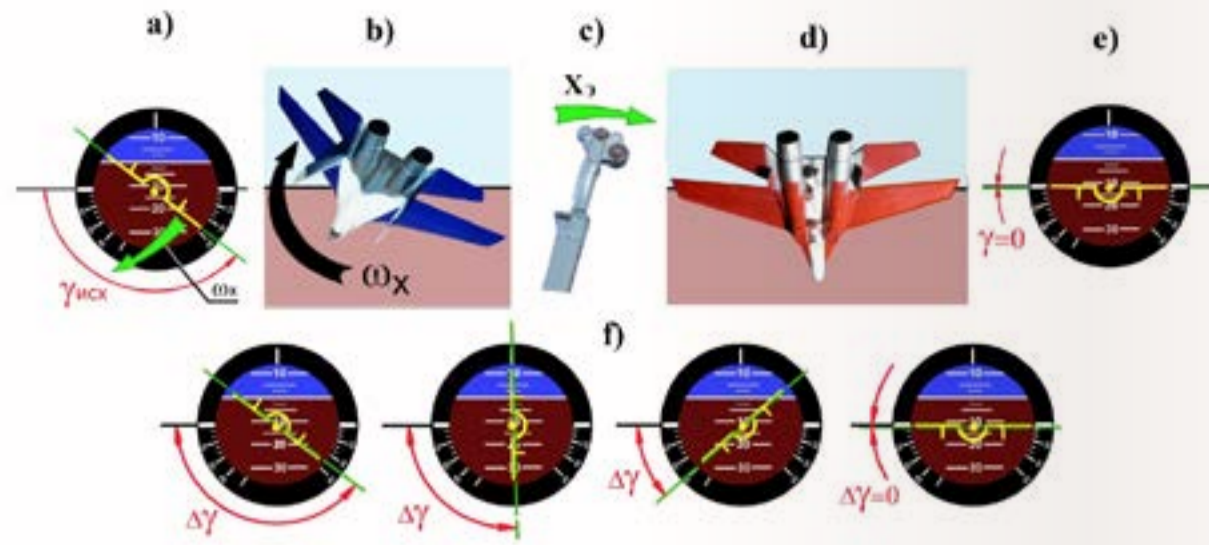


Рис. 7. Формирование оперативного образа для регуляции действий рычагом управления в поперечном канале для вывода самолета из крена в прямолинейный полет и динамика изменения структуры этого образа в процессе реализации действия при обратной индикации параметра.

структуры. При этом под полной образ понимается не только состав элементов, формирующих его структуру, но и характер связей между этими элементами и их динамическое соотношение. То есть в пространственном образе текущее положение самолета в пространстве (совокупность углов крена и тангажа) и динамика изменения этого положения должны отражаться как результат движения самолета в неподвижном пространстве.

Можно сделать вывод, что пространственное мышление – это результат наглядно-образного мышления, сочетающего в себе взаимосвязанные пространственный и логический компоненты.

При обратной индикации в приборном полете содержание процесса считывания и обработки инструментальной информации по крену и тангажу остается точно таким, каким оно было в визуальном полете. Соответственно, структура формируемого пространственного образа-представления остается без изменений. Это обуславливает возможность использования для формирования оперативных образов по управлению креном и тангажем тех же навыков, что применяются при визуальном пилотировании. Они формируются посредством оперирования образом самолета, которое осуществляется без непосредственной опоры на наглядность, как его мысленный поворот по крену или изменение положения по тангажу относительно представления «неба-земли» с разделяющей их представляемой линией горизонта (рис. 7b, d). И по результатам этих умственных операций мысленному преобразованию подвергается исходная наглядная основа (рис. 7e). Это позволяет представить отличие текущего положения элементов индикации от заданного (рис. 7a, e) и, собственно, сформировать наглядный оперативный образ для регуляции действий рычагом управления в соответствующем канале, например, при выводе самолета из крена в прямолинейный полет (рис. 7f).

Вследствие проявления этих факторов освоение пилотирования по приборам с такой инструментальной индикацией пространственного положения (включая энергичное маневрирование во всем диапазоне изменения углов крена и тангажа) не вызывает затруднений, а также

обеспечивается легкость перехода с визуального на приборное пилотирование и наоборот в течение одного полета.

Совсем иначе обстоит дело при использовании прямой индикации. Вследствие того, что в таких условиях летчик может наблюдать только элементы интерьера окружающего его пространства кабины, и его положение в этом пространстве зафиксировано, для дифференцирования наблюдаемых объектов на изменяющие свое положение (двигающиеся) и находящиеся в положении покоя, он может использовать только «кабинную» систему отсчета. Она и используется для считывания инструментальной информации по высотно-скоростным параметрам полета, курсу, углу атаки и нормальной перегрузке. Этот фактор обуславливает также **исходную** структуру формируемого на основании восприятия инструментального отображения углов крена и тангажа пространственного образа-представления. Рассмотрим различные возможные ситуации.

При незначительных по величине положительных или отрицательных углах тангажа, когда линия искусственного горизонта находится в поле зрения, и изображения неба и земли наблюдаются одновременно, формирование пространственного образа сложности не вызывает. Представляемый горизонт естественным образом включается в его структуру. Прямое или перевернутое положение образа самолета по крену определяется по величине угла, который, в свою очередь, определяется тем, какая «консоль крыла» силуэта находится ниже линии горизонта (рис. 8).

Когда же положительный или отрицательный угол тангажа значительны по величине, и на лицевой части АГ (ЭИ) линия искусственного горизонта не наблюдается², тем не менее, в структуре формируемого пространственного образа-представления горизонт должен присутствовать (рис. 9). В противном случае не представляется возможным определить направление отклонения рычага в поперечном канале, а также сформировать оперативный образ для регуляции действий рычагом в процессе

² Это принципиально отличает прямую индикацию от обратной, при которой обозначенная специальными метками линия искусственного горизонта всегда находится в поле зрения летчика. Вследствие этого в такой ситуации использование прямой индикации крена усложняет процесс формирования пространственного образа.

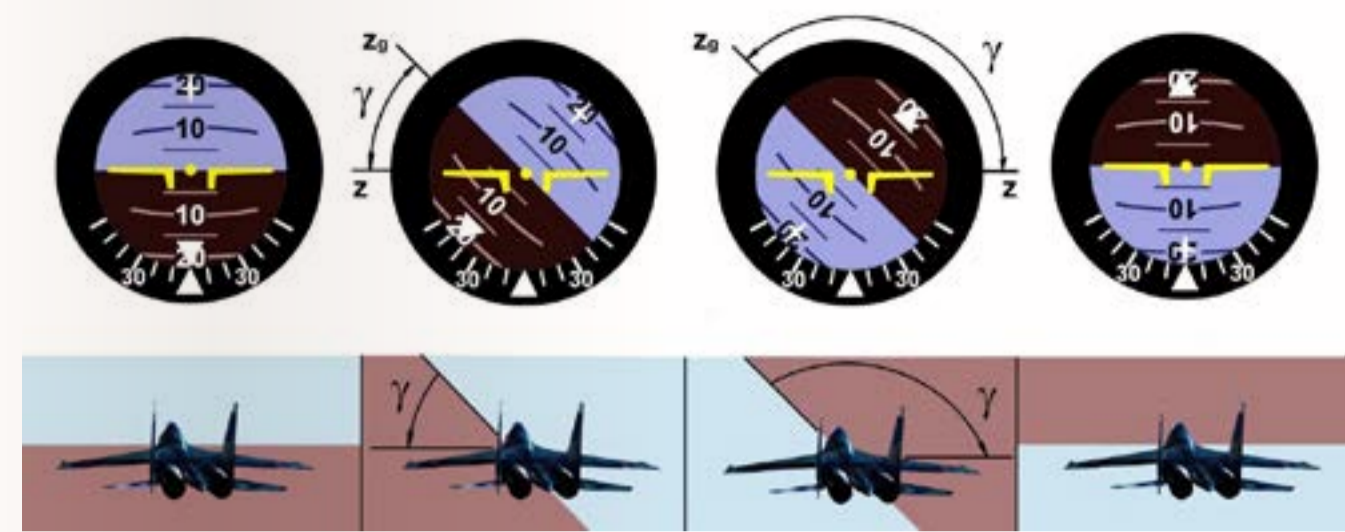


Рис. 8. Формирование пространственного образа при прямой индикации углов крена и тангажа при нахождении линии искусственного горизонта в поле зрения.

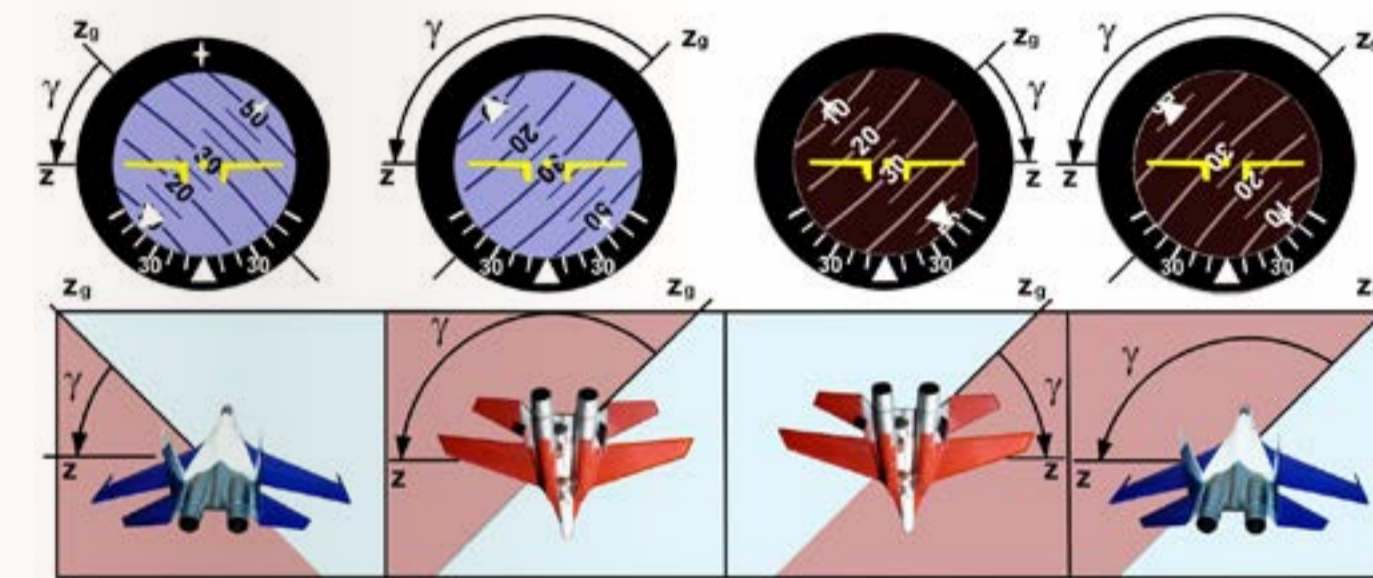


Рис. 9. Формирование пространственного образа при прямой индикации крена и при значительной абсолютной величине угла тангажа.

достижения текущей цели управления. В такой ситуации первоначально по положению центральной точки силуэта самолета на изображении «неба» или «земли» следует определить, кабрирует или пикирует самолет, то есть выше или ниже представляемого горизонта будет направлена продольная ось образа самолета. Затем, представив положение линии, параллельной делениям шкалы тангажа, если они обозначены прямолинейными отрезками (или касательной к делениям шкалы тангажа, если они криволинейны), определяется ориентация линии искусственного горизонта. И, наконец, по положению «консоли крыла» силуэта самолета, которая находится под представляемой линией, параллельной искусственному горизонту³, определяется положение образа самолета по крену (рис. 9). Предлагаемая методика формирования пространственного образа-представления при использовании прямой индикации фактически делает ненужным имеющийся на лицевой части некоторых типов электро-механических АГ вспомогательный символ «зенит».

Но если «кабинную» систему отсчета использовать и для оценки динамики изменения структуры пространственного образа, то есть для оценки и контроля динамики изменения пространственного положения самолета,

то в соответствии с принципом функционирования прямой индикации подвижным ее элементом, реагирующим на действия рычагами управления, будет наблюдаться изображение «неба-земли» с разделяющей их линией искусственного горизонта. Иными словами, эти элементы индикации формально станут выступать в роли отображения некоего объекта, реагирующего на действия рычагами управления. При этом направления реакции этого «объекта» будут противоположными направлениям отклонения рычага в поперечном и продольном каналах (рис. 10).

То есть при прямой индикации пространственного положения и использовании для считывания этой информации «кабинной» системы отсчета инструментальное отображение пространственных отношений реальных объектов (самолета, изменяющего свое положение относительно неподвижных объектов внекабинного пространства) будет неадекватным, не соответствующим реальности. При таком смысле восприятия этой информации не представляется возможным оперировать образом самолета в структуре пространственного образа для принятия решений по направлению отклонений рычага управления в поперечном и продольном каналах. Поэтому для

³ Опущенной под линию искусственного горизонта (или параллельную ей линию) считается та «консоль крыла» силуэта, при повороте которой к линии горизонта оцифровка шкалы тангажа занимает нормальное, а не перевернутое положение. А ракурс образа самолета определяется тем, к горизонту или от него повернута кабина и верхние поверхности элементов планера.

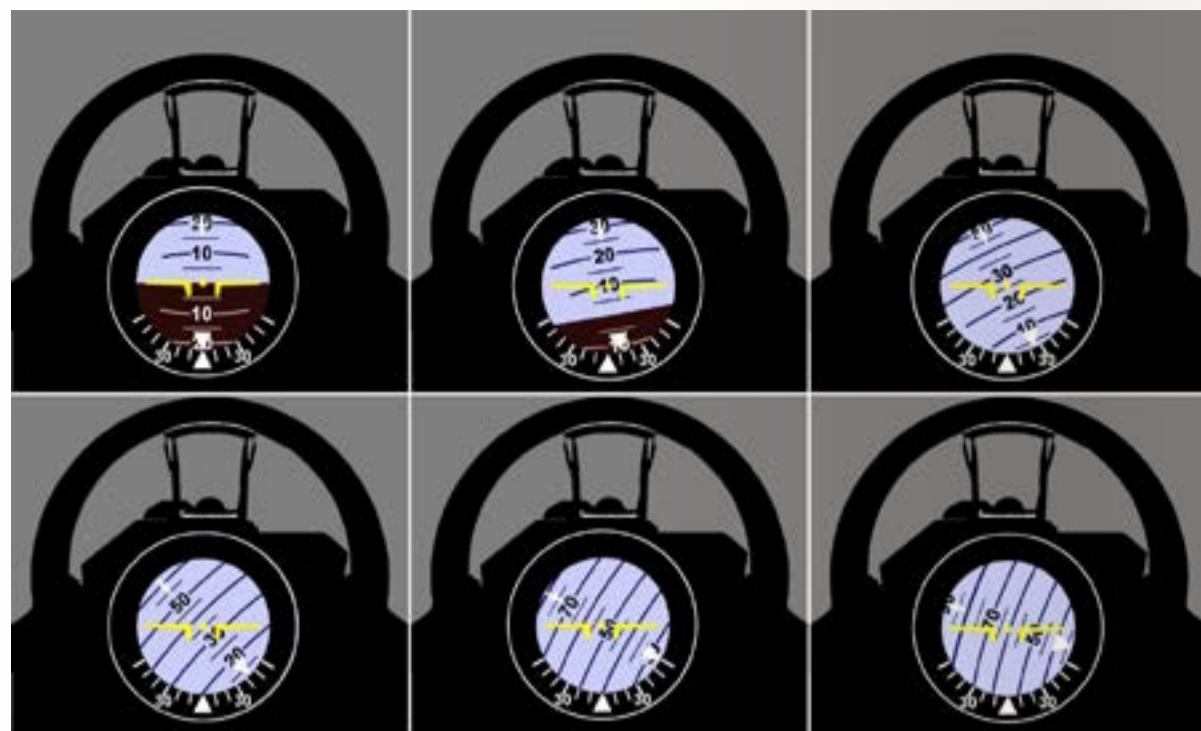


Рис. 10. Восприятие динамики изменения структуры образа инструментальной индикации пространственного положения в приборном полете при использовании прямой индикации и «кабинной» системы отсчета для считывания этой информации при вводе самолета в пространственный маневр с увеличением угла тангажа и одновременным разворотом вправо (в правый боевой разворот).

регуляции действий вырабатывается и используется специфический формализованный навык. Его содержание заключается в «управлении» линией искусственного горизонта (а в визуальном полете наблюдаемым или представляемым горизонтом). А система отсчета, обеспечивающая возможность получения качественной и количественной информации для принятия решений, привязывается к горизонтальной оси силуэта самолета, а точнее – к горизонтали пространства кабины (и поперечной оси тела летчика). Фактически искусственный горизонт играет роль «директора режима горизонтального полета». И логика формализованного навыка регуляции действий рычагом в поперечном и продольном каналах будет идентична логике принятия решений при директорном принципе управления. Как уже было отмечено, таким образом возможно пилотировать только самолет неманевренного класса. При этом для летчика будет затруднительно своевременное определения отказа каналов индикации крена и/или тангажа при нарушении их работоспособности, а также предотвращение в такой ситуации непреднамеренного попадания самолета в сложное пространственное положение и вывод из этого положения.

Каким образом можно парировать эффект мнимого (индуцированного) движения изображения «неба-земли» для адекватного восприятия динамики изменения структуры образа индикации пространственного положения при прямой индикации? Для этого следует обеспечить визуальное восприятие силуэта самолета как изменяющего свое положение относительно изображения «неба-земли». И способ или прием для достижения этого эффекта очевиден. Необходимо сосредоточить внимание на силуэте, одновременно ограничив поле зрения изображением «неба-земли», то есть исключить из него элементы, обозначающие «кабинную» систему отсчета. При достаточной способности человека к пространственному мышлению это однозначно приведет к восприятию силуэта подвижной фигурой, а изображения «неба-земли» фоном, то есть динамика изменения их взаимного

положения будет восприниматься адекватно. Для определения направлений отклонения рычага управления станет возможным оперировать образом самолета в структуре пространственного образа.

Почему при прямой индикации следует считывать качественную и количественную информацию по крену как величину угла между линией искусственного горизонта и горизонтальной осью силуэта самолета? Ведь эта информация может считываться и по-другому:

- как угол между положительным направлением вертикальной оси силуэта самолета и положительным направлением оси тангажа. При этом для обеспечения возможности считывания количественной информации сверху размещается шкала крена (неподвижная с подвижным индексом или наоборот);

- как угол между отрицательным направлением вертикальной оси силуэта самолета и отрицательным направлением оси тангажа. При этом неподвижная шкала крена с подвижным индексом размещается снизу (показано на рис. 8, 9, 10).

Во-первых, при использовании второго и третьего способов считывания необходимость наличия в поле зрения привязанных к «кабинной» системе отсчета неподвижных верхней или нижней шкалы крена играет исключительно отрицательную роль в плане адекватного отражения психикой динамики изменения пространственного положения самолета (то есть формирования пространственного образа с отражением пространственных отношений элементов его структуры адекватно реальному процессу изменения самолетом своего положения относительно объектов внекабинного пространства). Во-вторых, использование этих способов обуславливает необходимость выработки навыка, отличающегося от отработанного в визуальном полете для получения информации по этому параметру.

При считывании качественной и количественной инструментальной информации по крену при восприятии этого параметра как угла между линией искусственного горизонта (или представляемой параллельной ей

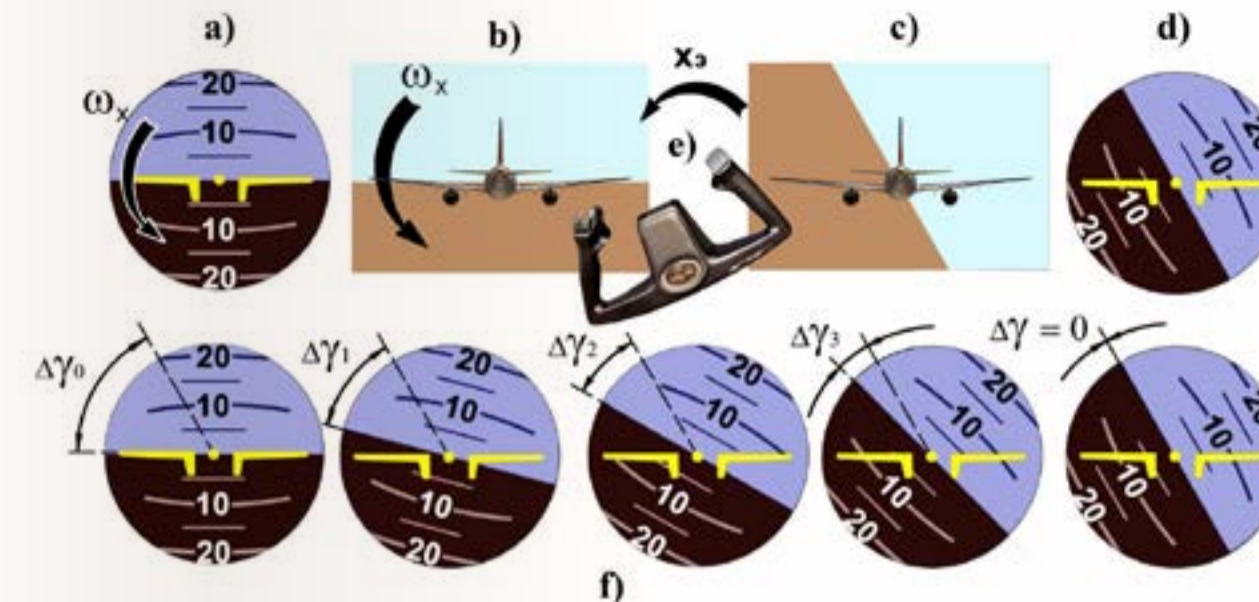


Рис. 11. Формирование оперативного образа для ввода самолета в левый крен 60° при использовании прямой индикации и динамика его изменения в процессе выполнения действия.

линией при нахождении искусственного горизонта вне поля зрения из-за значительной величины угла тангажа) и горизонтальной осью силуэта самолета величину этого параметра придется определять глазомерно. Приближенное глазомерное определение величины крена не создаст проблему при пилотировании. При выполнении разворотов целью управления является выход на заданный курс полета, а не точное выдерживание величины угла крена в процессе разворота. При этом на самолетах с установленным эксплуатационным ограничением максимальной величины крена имеет место соответствующая сигнализация. А точно выдерживать фактически требуется только нулевой крен при стабилизации режима прямолинейного полета. И в этом случае после вывода самолета из разворота можно использовать информацию, считываемую по шкале крена.

Теперь рассмотрим процесс формирования оперативных образов по управлению креном и тангажем. Начнем с наиболее простой ситуации – ввод самолета в крен в горизонтальном полете (рис. 11).

Очевидно, что структура пространственного образа, формируемого в приборном полете на основании считываемой инструментальной информации по углам крена и тангажа при прямой индикации этих параметров не совпадает с таковой, когда этот образ формируется в визуальном полете (за исключением режима прямолинейного горизонтального полета). Но, тем не менее, это не усложняет определение направлений отклонения ручки управления в продольном и поперечном каналах (колонки штурвала и его поворота), исходя из текущей цели пилотирования. Эти направления определяются исходя из того, в какую сторону должен изменить свое положение образ самолета относительно представляемого горизонта.

Так, для ввода самолета, например, в левый крен необходимо опустить левую консоль крыла ниже горизонта, то есть начать вращать самолет относительно его продольной оси против часовой стрелки. Формирование на основании восприятия исходного зрительного образа индикации (рис. 11a) пространственного образа-представления (рис. 11b) позволяет наглядно представить требуемое направление вращения самолета относительно

продольной оси и направление поворота штурвала (рис. 11e). Но вот для того, чтобы сформировать пространственный образ-представление, соответствующий достижению текущей цели пилотирования, то есть при достижении креном требуемой величины, и сформировать оперативный образ для управления этим параметром, теперь потребуется оперировать не образом самолета, как это делалось при визуальном пилотировании, а изображением «неба-земли». Мысленный поворот этого элемента образа индикации даст возможность представить структуру пространственного образа при достижении заданного угла крена (рис. 11c) и соответствующую структуру образа инструментальной индикации (рис. 11d). А сравнение исходной и конечной структур образа инструментальной индикации пространственного положения позволит сформировать оперативный образ для управления самолетом в поперечном канале (рис. 11f). Таким образом, при пилотировании по приборам и в случае использования прямой индикации крена для инструментального отображения пространственного положения самолета навык, обеспечивающий коррекцию действий рычагом управления в поперечном канале после принятия решения о направлении его отклонения в соответствии с текущей целью управления, принципиально отличается от такового, используемого в визуальном полете. Это заключается в несоответствии структуры пространственного образа и динамики ее изменения в сравнении с визуальным пилотированием.

А теперь в качестве примера рассмотрим процесс вывода самолета из сложного пространственного положения, характеризующегося значительным по величине положительным углом тангажа и одновременно небольшим креном (рис. 12a).

При этом в поле зрения летчика при обзоре внекабинного пространства даже в условиях, обеспечивающих визуальное пилотирование, будут отсутствовать элементы, позволяющие определить пространственное положение самолета (рис. 12b). Информация, обеспечивающая принятие решений по действиям рычагом управления, содержится в структуре визуально наблюдаемого образа лицевой части АГ (рис. 12c).

В такой ситуации для вывода самолета в режим



Рис. 12. Пример сложного пространственного положения самолета и соответствующая инструментальная информация по углам крена и тангажа.

прямолинейного горизонтального полета первоначально требуется в минимальное время уменьшить угол тангажа. В противном случае будет нарушено установленное эксплуатационное ограничение минимальной скорости полета, и возможно превышение критического угла атаки и непреднамеренное попадание в режим сваливания. При этом надо не допустить значительной отрицательной или околонулевой нормальной перегрузки. Поэтому для того, чтобы осуществлять уменьшение угла тангажа с положительной нормальной перегрузкой, необходимо увеличить крен самолета до величины порядка 140-150°. Это будет первым этапом вывода и промежуточной текущей целью пилотирования (рис. 13). Вторым этапом процесса вывода самолета в режим прямолинейного горизонтального полета будет уменьшение угла тангажа (рис. 14).

И, наконец, после этого самолет выводится из крена (рис. 15).

Какие выводы можно сделать?

1. Смысл наблюдаемого в визуальном полете при обзоре внекабинного пространства и отражаемого психикой летчика изменения взаимного положения самолета и объектов внекабинного пространства заключается в том, что это самолет движется и изменяет свое положение в неподвижном пространстве. Динамика изменения структуры образа, наблюдаемого на лицевой части АГ или экране ЭИ, является инструментальной моделью этого процесса.

2. В визуальном полете при наблюдении внекабинного пространства элементом структуры зрительного образа, который обеспечивает получение качественной и

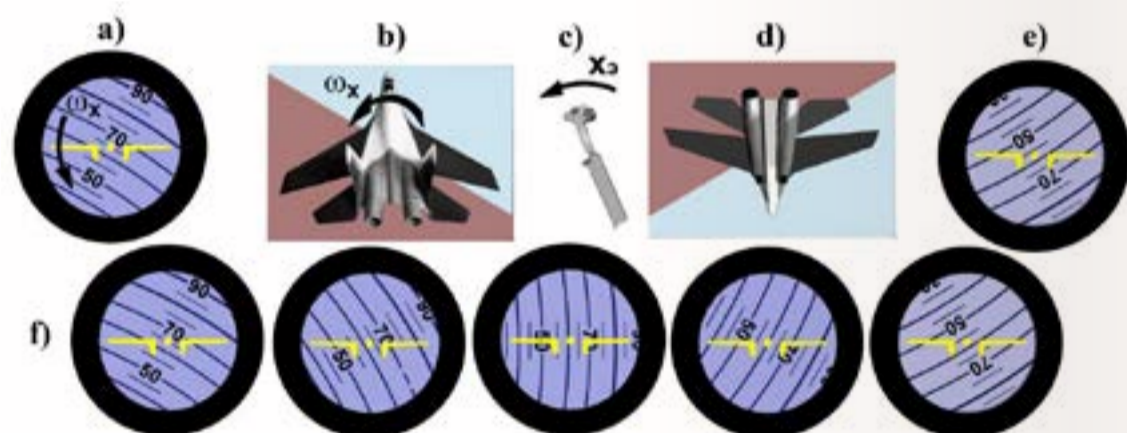


Рис. 13. Формирование пространственного образа [b], определение направления вращения самолета для увеличения крена и соответствующего направления отклонения рычага управления в поперечном канале [b, c], оперирование элементами пространственного образа для представления его структуры при достижении промежуточной цели пилотирования [d], формирование оперативного образа для осуществления управления по крену [a, e] и динамика его изменения [f].

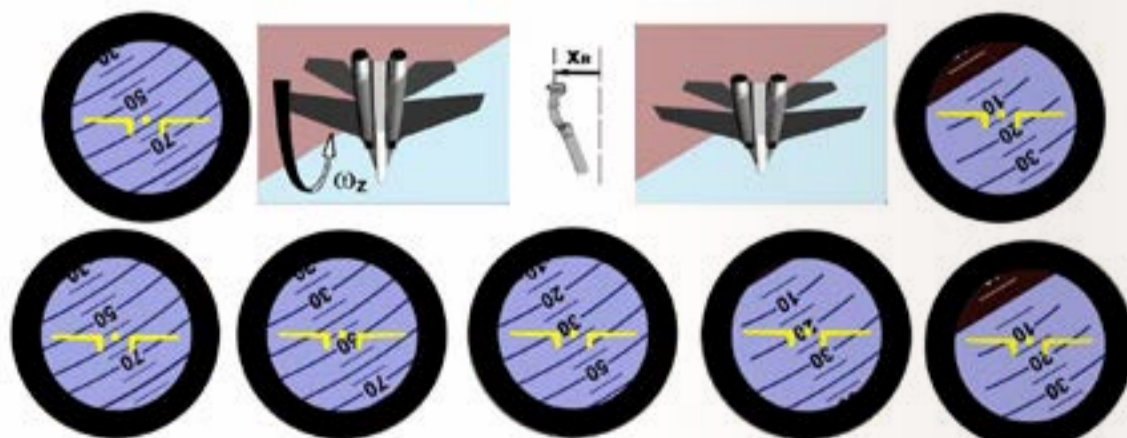


Рис. 14. Формирование пространственного образа, определение направления вращения самолета для уменьшения угла тангажа и соответствующего направления отклонения рычага управления в продольном канале, оперирование элементами пространственного образа для представления его структуры при достижении промежуточной цели пилотирования, формирование оперативного образа для осуществления управления по тангажу и динамика его изменения.

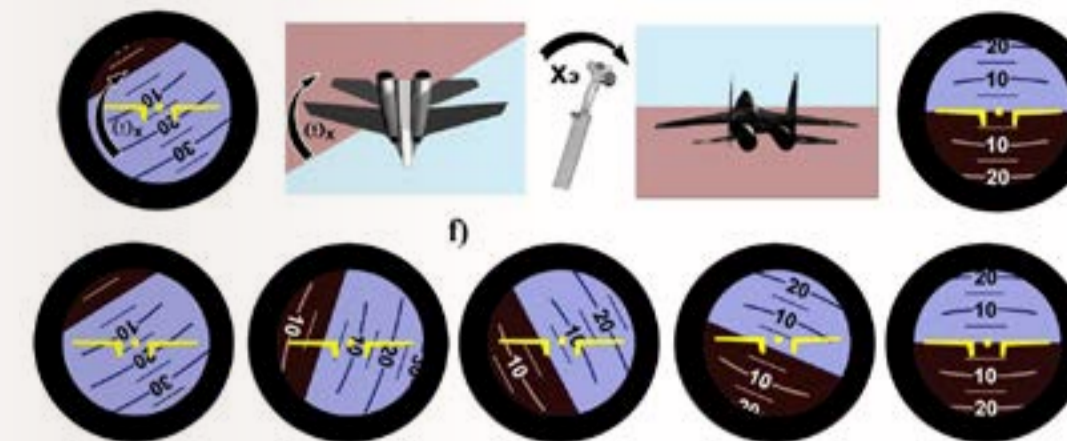


Рис. 15. Формирование пространственного образа, определение направления вращения самолета для вывода из крена в режим прямолинейного полета и соответствующего направления отклонения рычага управления в поперечном канале, оперирование элементами пространственного образа для представления его структуры при достижении цели пилотирования, формирование оперативного образа для осуществления управления по крену и динамика его изменения

количественной неинструментальной информации по углам крена и тангажа, является *местная горизонтальная плоскость* (то есть плоскость, перпендикулярная направлению действия силы тяжести или местной вертикали), положение которой представляется за счет наблюдения поверхности земли с элементами ландшафта и искусственными препятствиями, водной поверхности, или *наглядно обозначается горизонтом*.

3. Отражение психикой летчика пространственного положения самолета и динамики его изменения осуществляется посредством формирования *пространственного образа*. Исходной информацией для него служит получаемая за счет функционирования зрительного анализатора неинструментальная информация при обзоре внекабинного пространства или инструментальная информация по углам крена и тангажа, считываемая с АГ или ЭИ. При *адекватном восприятии* смысла динамики изменения структуры пространственного образа ощущения от воздействия суммарной маневренной перегрузки и/или угловых и линейных ускорений *практически не оказывают влияния на осуществление ориентации в пространстве*.

4. В визуальном полете летчик осуществляет пространственную ориентировку, то есть определяет пространственное положение самолета, оценивает и контролирует динамику его изменения в системе наглядных, наблюдаемых визуальных образов: цветной трехмерной картины внекабинного пространства и двухмерной плоской картины лицевой части АГ (ЭИ). В таких условиях при любом виде инструментального отображения углов крена и тангажа определение пространственного положения самолета, оценка и контроль динамики его изменения, принятие решений по действиям рычагами управления и коррекция управляющих действий в процессе достижения текущей цели пилотирования затруднений не вызывает.

5. При использовании обратной (ВсЗ)⁴ индикации крена для инструментального отображения пространственного положения самолета структура формируемого пространственного образа соответствует имеющей место

при визуальном пилотировании. При этом в «кабинной» системе отсчета, с использованием которой возможно считывание информации по этому параметру, перед глазами летчика постоянно находится инструментальная модель горизонта – обозначенная специальными метками и воспринимаемая неподвижной линией искусственного горизонта. Вследствие этого формирование полноценного (с присутствием линии горизонта) пространственного образа происходит естественно. Информация по тангажу воспринимается адекватно, оперативные образы для управления креном и тангажем формируются с использованием навыка, отработанного при визуальном пилотировании. Освоение пилотирования по приборам затруднений не вызывает.

6. При использовании так называемой прямой индикации крена (ВсВ) адекватное восприятие динамики изменения структуры визуально наблюдаемого образа лицевой части АГ (ЭИ) требует выработки специального навыка. Для формирования оперативного образа по крену также используется навык, отличающийся от выработанного при визуальном пилотировании. В приборном полете это усложняет процессы восприятия и обработки инструментальной информации о пространственном положении самолета и принятия решений по действиям рычагами управления. Их адекватность обеспечивается только при наличии у человека определенного уровня способности к пространственному мышлению. При этом имеет место более высокий уровень психического напряжения при осуществлении летчиком необходимой интеллектуальной деятельности по сравнению с использованием для инструментального отображения пространственного положения самолета «обратной» индикации крена. Использование прямой индикации для осуществления пространственной ориентировки и регуляции действий рычагами управления при пилотировании самолета в ручном режиме в приборном полете (то есть при пилотировании по ППП) в определенной степени снижает уровень безопасности полетов.

⁴ Непонятно, почему этот вид индикации так назвали. Если исходить из ее функционального предназначения, а оно заключается в инструментальном отображении угла крена и динамики его изменения с учетом используемой для этого системы отсчета, а не в том, чтобы формально моделировать динамику изменения структуры зрительного образа при наблюдении внекабинного пространства, когда система отсчета для этого почему-то произвольно фиксируется относительно самолета. Ведь это самолет летит в пространстве (то есть пространству следует присвоить признак неподвижности), а не пространство перемещается относительно неподвижного самолета.