

Эргатические системы управления

УДК 629.735.051.017.22(045)

АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ПИЛОТ-САМОЛЕТ

Е.Ю. Грабовская, С.В. Павлова

Институт аэронавигации Национального авиационного университета

Описано несколько типов индикации полетной информации на авиагоризонтах, а также их преимущества и недостатки. Рассмотрены альтернативные бортовые информационные системы, такие как индикатор на лобовом стекле и нашлемные системы индикации. Также описаны новые виды интерфейсов авиагоризонта.

Описано декілька типів індикації польотної інформації на авіагоризонтах, а також їх переваги та недоліки. Розглянуто альтернативні бортові інформаційні системи, такі як індикатор на лобовому склі та нашоломні системи індикації. Також описано нові види інтерфейсів авіагоризонту.

Введение

В полете одним из факторов, влияющих на успешность его выполнения, является пространственная ориентировка пилота — восприятие пилотом линейного и углового положения самолета относительно земли.

В авиации третья часть авиакатастроф происходит по вине потери пространственной ориентировки пилота. Причинами могут быть критические или сложные условия полета, психофизиологическое состояние пилота, а также неадекватное отображение информации на приборах в кабине экипажа, сложность считывания которой увеличивается при возникновении нестандартных условий полета.

Поэтому определение преимуществ и недостатков приборов в критических условиях полета является очень важным этапом для обеспечения безопасного и легкого в управлении полета.

Анализ проблемы

Пространственная ориентировка пилота в критических ситуациях является очень важным вопросом для обеспечения качественного управления полетом.

Существует много методов и способов для обеспечения пространственной ориентировки, основанных на практической и теоретической подготовке экипажа, а также применением надежных пилотажно-навигационных приборов.

Главными критериями при проектировании информационных пилотажно-навигационных приборов являются:

— характеристики и состав информационных приборов как важнейших средств деятельности операторов;

— учет внешней среды, минимизация напряженности и утомления операторов, а также потенциальных ошибок в сложных непредвиденных ситуациях;

— полное функциональное обеспечение деятельности оператора по решению возложенных на него задач, в том числе выбор оптимальной подготовки оператора [2].

В соответствии со статистикой аварий и катастроф, причиной которых является пространственная дезориентировка, можно сделать вывод, что необходимо совершенствовать приборы отображения пилотажной информации на основе применения принципа персональной адаптации [2].

Для обеспечения наиболее эффективного управления воздушным судном (ВС) необходимо, чтобы данные, поступающие пилоту, ассоциировались с реальным управляемым самолетом. Для этого в информационной системе используют элементы, обладающие внешним сходством с объектом, например силуэт самолета.

К основным пилотажно-навигационным приборам относится авиагоризонт, который отображает положение самолета в пространстве (углы крена и тангажа). В настоящее время в авиации используется несколько типов авиагоризонтов: авиагоризонт с «прямой» индикацией («вид с ВС на землю»), «обратной» индикацией («вид с земли на ВС») и с «обратной» индикацией угла крена и «прямой» индикацией угла тангажа.

Постановка задачи

Проблема пространственной ориентировки во время полета является частью более широкой проблемы восприятия оператором окружающей среды. От того, насколько хорошо ориентируется оператор в пространстве, зависит успешность выполнения его полетного задания [1]. Одной из причин совершения оператором ошибок является неправильное восприятие данных, отображаемых приборами в кабине экипажа.

Информационные системы на борту самолета должны максимально облегчать управление ВС в стандартных условиях полета и обеспечивать принятие правильного решения в нестандартных, критических условиях.

Для обеспечения надежности и скорости принятия решений оператором в стандартных ситуациях необходима адекватная структура средств отображения информации структуре сенсорных, мыслительных и исполнительных действий оператора. В то же время приспособление оператора к непредвиденным ситуациям может быть реализовано с помощью запаса информации о состоянии полета, который обычно почти полностью отсутствует в информационных системах вследствие того, что они приспособлены к решению только определенных задач [2].

Поэтому перед авиацией стоит задача в разработке информационных систем отображения визуальной информации в кабине экипажа, которые должны четко и мгновенно информировать о состоянии полета и быть доступными для легкого восприятия, что поможет уменьшить количество аварий и катастроф, вызванных пространственной дезориентировкой пилота.

Пилот является активным оператором, который воспринимает и обрабатывает информацию для ориентировки в пространстве. Образ полета является базовым компонентом психического отображения. Также его компонентами являются образ пространственного положения, чувство самолета и восприятие приборов. Поэтому для качественного и безопасного управления ВС необходимо, чтобы были согласованы концептуальная,

оперативная и информационная модели полета. В этом случае время восприятия, анализа и принятия решения по управлению ВС будет минимальным.

Концептуальная модель создается пилотом с помощью представления полета на земле во время подготовки. Например, пользуясь макетом самолета, пилот моделирует разные этапы полета и возможные ситуации.

Оперативная модель полета — модель, создаваемая пилотом с помощью пространственной ориентировки, т.е. представления о состоянии полета, на основе собственных ощущений относительно положения самолета в пространстве во время полета, т.е. знание пилота о месте нахождения и перемещения ВС в определенный момент времени.

Информационная модель — взаимодействие пилотажно-навигационного оборудования в кабине экипажа и визуальной модели полета (зрительное наблюдение за положением и перемещением ВС в пространстве) [3].

Цель работы — сравнительный анализ авиагоризонтов разных типов отображения полетной информации и их влияние на эффективность управления ВС в сложных и критических условиях полета.

Авиагоризонт с «обратной» индикацией

Авиагоризонт — это гироскопический прибор, используемый в авиации для определения угла крена и угла тангажа — углов ориентировки относительно истинной вертикали.

Авиагоризонт с «обратной» индикацией или «вид с земли на ВС» имеет схему отображения информации, на которой силуэт ВС движется по оси крена относительно неподвижного изображения искусственного горизонта (рис. 1, *а*). Такая индикация полностью воспроизводит движение самолета в реальном полете, в котором истинный горизонт всегда остается неподвижным, а самолет, в свою очередь, изменяет свое положение относительно горизонта. Индикация этого типа легка для восприятия, потому что полностью отвечает естественной ориентировке человека в пространстве.

Недостатком такого типа индикации является то, что в момент перехода от приборного полета к визуальному,двигающийся силуэт ВС наклонен относительно линии горизонта на угол в два раза больший чем ВС, что, в свою очередь, может привести к дезориентировке пилота.

Авиагоризонт с «прямой» индикацией

В таком типе авиагоризонта подвижной частью является изображение неба-земли и линии искусственного горизонта по отношению к неподвижному силуэту самолета (рис. 1, *б*). Углы крена и угол тангажа определяются наклоном искусственного горизонта и на фоне изображения неба-земли. Выбор такого исполнения информационного табло должен был способствовать пространственной ориентировке пилота в любых метеоусловиях, а цифровые показания углов крена и угла тангажа — управлению самолетом. Однако линия условного горизонта имеет такие параметры, которые не разрешают задействовать периферическое зрение при ориентировке в пространстве. Поэтому индикация такого типа может привести только к трудностям при определении пилотом истинного пространственного положения ВС, поскольку подвижный горизонт и

неподвижный силуэт ВС противоречат представлению пилота о реальном размещении ВС в пространстве.

К преимуществам использования данного типа авиагоризонта относится совпадение естественного и искусственного горизонта при переходе с приборного к визуальному полету. Но такое преимущество существенно не влияет на безопасность приборного полета.

Информация от этого типа авиагоризонтов не дает абсолютно надежного определения пространственного положения самолета особенно в сложных и критических условиях полета. Необходимость преобразования информации от авиагоризонта в таких условиях нередко приводит к ошибкам пилота.

Авиагоризонт с «обратной» индикацией по крену и «прямой» индикацией по тангажу

Авиагоризонт со «смешанной» индикацией имеет подвижный силуэт самолета на фоне неподвижного изображения неба-земли и подвижную по углу тангажа планку линии условного горизонта.

Авиагоризонт с «обратной» индикацией угла крена и «прямой» индикацией угла тангажа имеет все преимущества и недостатки «обратной» индикации крена и «прямой» индикации угла тангажа. Использование «прямой» индикации по каналу тангажа снижает сложность индикации угла тангажа при перевернутом полете и не вызывает такой сложности, как при «прямой» индикации по каналу крена, потому что изображение горизонта является неподвижным, что не противоречит представлению пилота об окружающем пространстве, но в свою очередь, «обратная» индикация по каналу крена имеет такой же недостаток, как и авиагоризонт с «обратной» индикацией при переходе от приборного к визуальному полету.

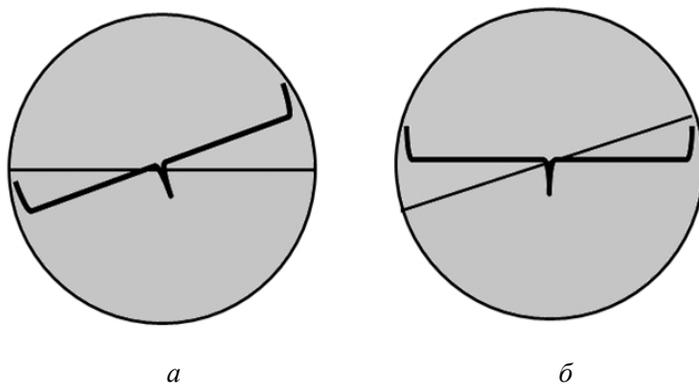


Рис. 1. Авиагоризонт: *а* — «обратная» индикация; *б* — «прямая» индикация

Индикация на лобовом стекле и наשלменные системы индикации

К новым приборам, которые помогают успешно выполнять полет, относится также индикация на лобовом стекле (ИЛС) и наשלменные системы индикации (НСИ).

ИЛС размещается на линии визирования между пилотом и лобовым стеклом (рис. 2). Экран ИЛС практически прозрачный, поэтому пилот видит информацию на фоне окружающей среды. Для того чтобы пилот, глядя в пространство, видел информацию на экране, изображение проецируется в

бесконечность, в результате пилот видит это изображение, как будто оно находится на большом расстоянии, поэтому глаза меньше устают [4].

Пилотирование самолета по информации ИЛС дает возможность пилоту не опускать взгляд для считывания информации с приборной доски. Это означает, что пилот ни на секунду не теряет контроль над положением самолета относительно земли и над воздушным движением вокруг него.

Вид изображения пилотажной информации напоминает традиционный пилотажный формат на приборной доске. В ее составе индицируются основные пилотажные параметры (воздушная и путевая скорость, тангаж, крен и другая необходимая информация) [5].



Рис. 2. Индикация на лобовом стекле

Нашлемные системы индикации имеют похожую схему отображения информации, существенным отличием является то, что экран закреплен на шлеме перед глазами пилота (рис. 3). Но, к сожалению, такие системы используются только на боевых самолетах и вертолетах. НСИ, кроме индикации полетной информации, используются для прицеливания. Еще одним отличием является то, что на ИЛС пилот видит изображение только тогда, когда смотрит прямо, а на НСИ он видит информацию постоянно, куда бы он ни смотрел.



Рис. 3. Нашлемная система индикации

Несмотря на все эти позитивные качества, ИЛС и НСИ имеют недостатки. Информация, отображаемая на экране, постоянно закрывает часть внешнего пространства в важнейшей области обзора. Для того чтобы меньше закрывать внешнее пространство, индикацию делают максимально простой и лаконичной. Кроме того, иногда у пилота на расстоянии вытянутой руки возникает «темный фокус», который приводит к неправильному восприятию дистанций.

Усовершенствование авиагоризонтов

Для избежания возникновения иллюзий пространственной ориентировки разрабатываются улучшенные модели авиагоризонтов. Примером одного из которых является авиагоризонт с дополнительными шкалами (рис. 4).

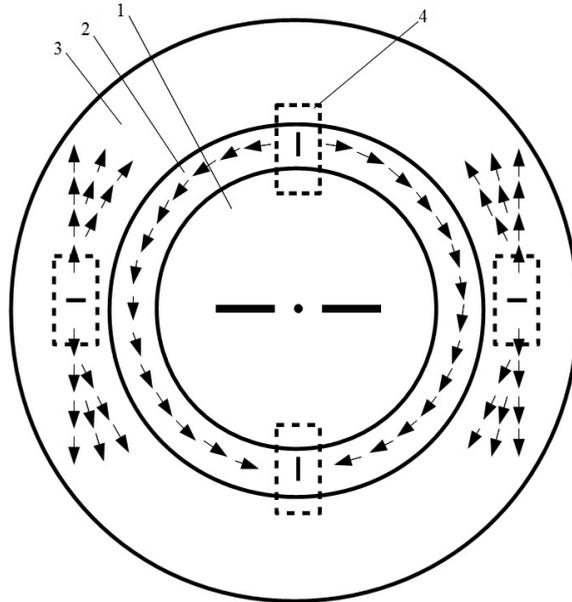


Рис. 4. Авиагоризонт с дополнительными шкалами

В полете возникают ситуации, когда пилот отклоняется относительно информационных приборов, это, в свою очередь, может привести к неправильной интерпретации данных, индицируемых на приборах. Для исключения такой ошибки, на авиагоризонте размещаются дополнительные шкалы в виде стрелок (1–4), которые изменяют свое положение относительно окон во время отклонения подвижной части прибора от исходной оси движения ВС.

В случае отклонения ВС по углу тангажа или по углу крена появляются стрелки и показывают направление, куда необходимо отклонять штурвал; это должно облегчать пилоту управление самолетом [6].

Также существуют авиагоризонты с разными способами отображения информации. Примером являются командно-пилотажный прибор логической индикации положения и управления ВС в пространстве (рис. 5, а) и авиагоризонт, имеющий трехмерный силуэт отображения самолета в полете (рис. 5, б).

Информационное табло авиагоризонта командно-пилотажного прибора логической индикации положения управления ВС имеет прозрачный выпуклый экран, под которым находится выгнутая шкала и объемный макет ВС, носовая часть которого ориентирована от экрана в направлении его средней вертикали экрана. На экране сверху нанесена дугообразная шкала крена. Вынесение шкалы крена за пределы экрана должно снимать перегрузку экрана информацией и акцентировать внимание пилота на положении объемного макета самолета [7].

В авиагоризонте с трехмерным силуэтом самолета, как и на предыдущих авиагоризонтах, информационное табло делится на небо и землю. Силуэт самолета проецируется в трехмерном пространстве, нижняя и верхняя часть фюзеляжа отличаются цветом. При этом силуэт самолета должен быть похожим на модель, которой управляет пилот. Силуэт ВС воспроизводит все маневры самолета при взлете, полете и заходе на посадку, что обеспечивает высокую информативность при управлении [8].

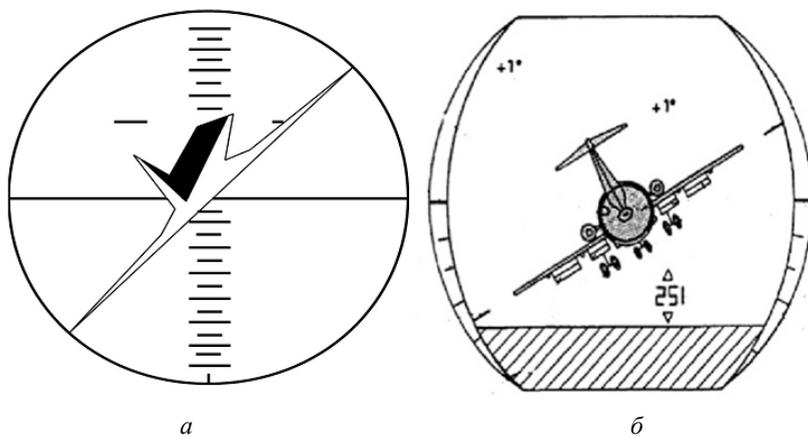


Рис. 5. Информационное табло авиагоризонта:

a — командно-пилотажного прибора логической индикации положения и управления ВС; *б* — с трехмерным отображением информации

В отличие от предыдущих интерфейсов, в авиагоризонте без линии искусственного горизонта (рис. 6) угол крена определяется с помощью стрелки 1 и силуэта самолета 2, а угол тангажа с помощью стрелки 3. В стандартном полете данные индицируются зеленым цветом, а при переходе к большим наклонам по углу тангажа или углу крена индикация становится красной для предупреждения пилота о выходе за пределы нормального полета [9].

Все перечисленные виды авиагоризонтов отображают большое количество информации. Но избыточность информационных данных допустима только в том случае, когда она позволяет пилоту ориентироваться в критических условиях полета, не снижая надежность его работы в стандартных условиях.

Независимо от качественной интерпретации воспринимаемой информации пилотом общим требованием, предъявляемым к информационным приборам, является представление информации, адекватной реальной внешней обстановке в такой форме, которая позволит

операторам с достаточной вероятностью принимать правильные решения и поддерживать заданные значения критериев эффективности и надежности системы [2].

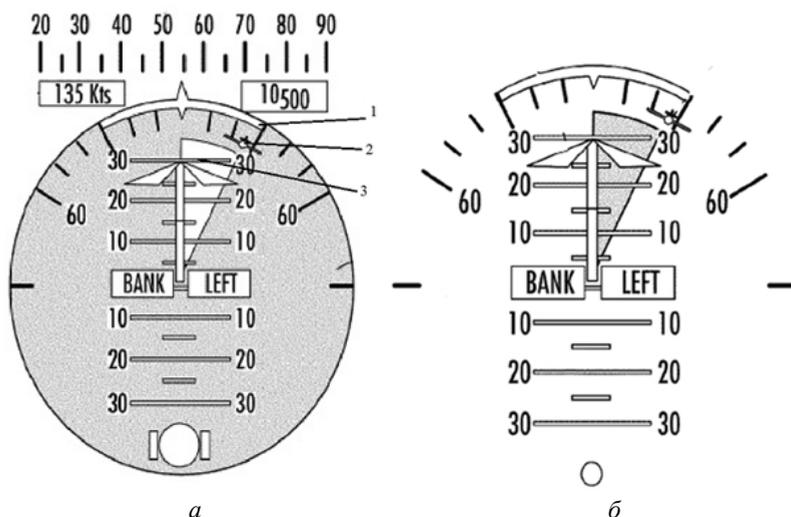


Рис. 6. Авиагоризонт без линии искусственного горизонта:
а — вид интерфейса на приборной доске в кабине экипажа;
б — вид интерфейса на ИЛС

Кроме того, на информационных приборах должны воспроизводиться не только сигналы о переходе в критические зоны полета, но и возможные пути их устранения. Способ решения оптимизации управления ВС должен быть основан на принципе персональной адаптации, который описан Вендой В.Ф. [10].

Непонятное пространственное положение самолета

Кроме повышения надежности авиационной техники, ориентировка пилота в пространстве в сложной обстановке приобретает все большее значение в обеспечении безопасности полетов.

Во время полета по приборам, когда не видно естественного горизонта, по зрительному каналу поступает информация, не указывающая на пространственное положение, а требующая дополнительного анализа. В таких условиях полета зрение утрачивает главную роль и мозг в большей степени полагается на вестибулярный аппарат. В случае несоответствия информации, получаемой по зрительному каналу от приборов, и вестибулярного аппарата возникает «сенсорный конфликт», для разрешения которого в мозгу сопоставляется информация, полученная от приборов, и информация, которую видит пилот через лобовое стекло. В критических условиях полета возникает дефицит времени и у пилота на это не хватает времени.

В сложных условиях полета экипаж при считывании информации с авиагоризонта может неправильно воспринимать индицируемую информацию (перепутывать разные типы авиагоризонтов). Неправильные и несвоевременные выводы, сделанные пилотом при анализе информации, могут привести к частичной или полной потере ориентировки в

пространстве. При этом частичная потеря пространственной ориентировки несет большую опасность, потому что пилот не осознает создавшегося положения и не принимает своевременных мер по выходу из него.

Характерные вестибулярные иллюзии экипажа могут возникать от положительного или отрицательного ускорения и вращения. При возникновении ускорения, направление которого не совпадает с направлением вектора гравитации, у пилота возникает иллюзия изменения угла кабрирования самолета. В случае если пилот не может это ощущение откорректировать по каналу визуального восприятия, то непроизвольно поднимет или опустит нос самолета по своим ощущениям положения в пространстве. Такая же иллюзия может возникнуть при резких ускорениях в условиях плохой видимости и непосредственной близости к земле.

Иллюзии вращения могут возникать во время долгого маневрирования на постоянной угловой скорости. Вывод из вращения самолета в одну сторону может быть воспринят вестибулярным аппаратом как вращение в другую сторону, потому что частые резкие повороты головы приводят к «смазыванию» видения приборной доски кабины экипажа и создается иллюзия вращения окружающей среды после прекращения поворота головы.

Для поддержания адекватного представления о размещении самолета в пространстве при пилотировании по приборам и отсутствии прямой зрительной информации о положении линии естественного горизонта важное значение имеет обеспечение непрерывного получения адекватной информации от приборов. Это необходимо потому, что органы чувств пилота постоянно сравнивают поступающие сигналы с уже имеющейся информацией. Если информация поступает непрерывно и без больших изменений в показаниях приборов, трудности в управлении отсутствуют.

Компенсационная система отклонений по углу крена и углу тангажа

Рассмотренные ранее способы отображения пилотажно-навигационной информации имеют недостатки, которые можно исключить путем использования принципов персональной адаптации [10]. Для предотвращения перегрузки пилота в сложных или критических условиях полета предлагается разработка компенсационной системы отклонений по углу крена и углу тангажа.

Компенсационная система отклонений по углу крена и углу тангажа объединяет две основные составляющие: средство индикации и блок автоматического формирования комплексных воздействий. Так как на систему пилот-самолет действуют различного рода возмущения, среди которых ведущую роль играют: непрерывные случайные изменения лобового сопротивления и подъемной силы, случайные аэродинамические силы и моменты, вызванные турбулентностью атмосферы, от которых зависит качество работы системы, решением проблемы является компенсация воздействия возмущений.

Суть предлагаемой компенсационной системы отклонений по углу крена и углу тангажа заключается в автоматическом компенсировании длительных отклонений самолета по параметрам.

Если в авиагоризонте с дополнительными шкалами, как мы указывали раньше, были сделаны попытки решить эту проблему путем добавления

дополнительных шкал, которые указывают направление, куда необходимо отклонять штурвал в ручном режиме, то проведенные нами предварительные исследования показали, что можно включить на приборную доску пилота авиагоризонт с автоматическим компенсированием отклонений по углу крена и углу тангажа. Для определения алгоритма автоматической компенсации отклонений по каналу крена и каналу тангажа проводятся эксперименты в среде Matlab и на тренажерах в различных условиях полета. Результаты этих экспериментов дадут возможность количественно определить компенсацию для исключения отклонений от параметров полета, в частности при длительном угле крена и угле тангажа.

Выводы

Использование авиагоризонтов предоставляет возможность определять истинное положение самолета в пространстве, но в то же время, все типы индикации авиагоризонтов имеют недостатки: некорректное отображение информации при переходе от приборного к визуальному полету, сложности при считывании информации при переходе на критические режимы полетов и другие. Не решают эту проблему и новые способы проектирования авиагоризонтов. Авиагоризонт с дополнительными шкалами частично компенсирует недостатки восприятия информации пилотом в сложных и критических условиях полета, однако не решает проблему пространственной ориентировки в полном объеме.

Использование принципов персональной адаптации при разработке компенсационной системы отклонений по углу крена и углу тангажа предоставляет возможность дополнительной корректировки информации, которая осуществляется в автоматическом режиме. Это позволяет компенсировать воздействие возмущений в сложных и критических условиях полета при действиях пилота в ограниченное время.

1. И.И. Григорьев Пространственная ориентировка пилота в полете с позиции здравого смысла // Вестник МНАПЧАК. — 2006. — № 3 (22). — С. 16–30.
Grigoryev I.I. The spatial orientation of pilot on wing from position of healthy sense. *Vestnik MNAПЧАК*, 2006, no. 3 (22), pp. 16–30.
2. Венда В.Ф. Видеотерминалы в информационном взаимодействии: (инженерно-психологические аспекты) / В.Ф. Венда — М. : Энергия, 1980. — 200 с.
Venda V.F. *The videoterminals in informative co-operation: (engineer-psychological aspects)*. Moscow, Energy Publ., 1980. 200 p.
3. Пленцов А.П., Желонкин В.И., Законова Н.А. Решение проблемы «Потеря пространственной ориентировки и управления самолетом в полете» / А.П. Пленцов, В.И. Желонкин, Н.А. Законова // Вестник МНАПЧАК. — 2007. — № 3 (26). — С. 13–19.
Plentsov A.P., Zhelonkin V.I., Zakonova N.A. Decision of problem «Loss of spatial orientation and flying an aeroplane on wing». *Vestnik MNAПЧАК*, 2007, no. 3 (26), pp. 13–19.
4. Кучерявый А.А. Бортовые информационные системы: Курс лекций. / А.А. Кучерявый — Ульяновск : УлГТУ, 2004. — 504 с.
Kucheryavyy A.A. *The side informative systems: Course of lectures*. Ulyanovsk, UIGTU Publ., 2004. 504 p.
5. Koehler H., Amendt R., Kacirek J. Kompendium der Flugmedizin. *Flugmedizinisches Institut der Luftwaffe Publ.*, Dresden, 2009. 363 p.
6. Пат. 2390726 РФ, МПК G 01 C 19/34. Авиагоризонт / Н.Е. Староверов; патентообладатель Староверов Н.Е. — № 2008145793/28; заявл. 19.11.08; опубл.

- 19.11.08. — 3 с.
Staroverov N.E. *Attitude indicator*. Patent 2390726 RF, MPK G 01 C 19/34, no. 2008145793/28, 2008.
7. Пат. 2331848 РФ, МПК G 01 C 23/00. Командно-пилотажный прибор логической индикации положения и управления летательным аппаратом пространстве / А.П. Пленцов, Н.А. Законова; патентообладатель ООО Научно-производственный центр «ЭрАвиаЛогин» — №2006135350/28; заявл. 06.10.06; опубл. 06.11.06. — 11 с.
Plencov A.P., Zakonova N.A. *The command-pilotage device of logical indication of position and management an aircraft space*. Patent 2331848 RF, Int.Cl. G 01 C 23/00, no. 2006135350/28, 2006.
8. Sacle J. *Attitude indicator for an aircraft*. Patent US2005/0012642A1 United States, Int.Cl. G 01 C 23/00. no. 10/483,828, 2005.
9. Marstall J.L., shakeel M. *Aircraft attitude system*. Patent US2011/0205090A1 United States, Int.Cl. G 01 C 23/00, no. 13/031,370, 2008.
10. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта : Эволюция, психология, информатика. / В.Ф. Венда — М. : Машиностроение, 1990. — 448 с.
Venda V. *Systems Hybrid of intelligence. Evolution, Psychology and Computer Science*. Moscow. Engineering Publ., 1990. 448 p.

O. Grabovska, S. Pavlova
ANALYSIS OF STRATEGIES OF PROVIDING INFORMATION TO PILOT/AIRPLANE INTERFACE

Introduction: Spatial orientation in flight seems one of the most important factors regarding flight efficiency and security. To enable the adequate perception of airplane location in space by the pilot, aviation instruments including gyro horizon (artificial horizon, attitude indicator) are used.

The correctness of information display on the gyro horizon is very important both under normal and critical flight conditions.

Purpose: The main purpose of the article is to provide comparative analysis of various indication types of gyro horizons to define the best performing ones.

Contents: Today's aircraft possesses several types of flight information indication on the gyro horizon. The main requirements to all indication types include ease of information perception by the pilot and providing continuous exact data displayed on the gyro horizon interface both under normal and critical flight conditions.

Results: The article deals with various types of information display on the gyro horizons, their strong points and disadvantages, describes new ways to display information, which should provide ease of control of the aircraft. The authors proposed a new system pilot-aircraft, which compensates the impact of disturbances in normal, difficult and critical flight conditions.

Conclusion: At the moment the problem of spatial orientation of pilots is not solved. There is a need to improve the visualization of logical information of movement and position of the aircraft during flight.

Keywords: pilot, gyro horizon (artificial horizon, attitude indicator), spatial orientation, pilot/airplane interface, critical flight conditions.

Получено 04.02.2013