



СОИ с интегральными полетными параметрами



Игорь КУЗНЕЦОВ

Igor B. KUZNETSOV

Анализ принципов формирования полетной информации, получаемой пилотом о воздушном судне. Раскрыт показатель минимально необходимых для качества пилотирования временных затрат на взаимодействие человека с информационной средой.

Автор анализирует наметившийся переход к аналоговой визуализации параметрического ряда, рассматривает совмещенную цифровую или аналоговую визуализацию нескольких полетных параметров одним изобразительным элементом типа «шкала-стрелка» либо одним фрагментом общего информационного поля систем отображения информации (СОИ), решает задачу создания единой теоретической основы, методологии проектирования СОИ с интегральными элементами.

Ключевые слова: авиация, система отображения информации, полетный параметр, изобразительный элемент, интегральный полетный параметр.

Кузнецов Игорь Борисович — кандидат технических наук, директор ФГУП «Учебно-тренировочный центр» (г. Санкт-Петербург).

Перспективным и проверенным практикой последних десятилетий направлением совершенствования систем отображения информации (СОИ) воздушного судна (ВС) являются отказ от традиционного цифрового представления полетных параметров (ПП) на отдельных изобразительных элементах (ИЭ) типа «шкала-стрелка» и наметившийся переход к аналоговой визуализации параметрического ряда.

Для краткости терминологии совмещенную цифровую или аналоговую визуализацию нескольких ПП одним ИЭ или одним фрагментом общего информационного поля СОИ будем называть *интегральным полетным параметром* (ИПП).

Это направление было намечено в исследованиях по учету влияния человеческого фактора на безопасность полетов и выделено среди приоритетных как задача оценки допустимых уровней рабочей загрузки экипажа ВС на каждом из этапов полета и оценки элементов СОИ [1]. Развитие исследований, с одной стороны, характеризуется разработкой и испытаниями большого числа разнотипных ИПП, различных по составу комплексированных ПП и формам их визуализации, а с другой — от-

существованием единой теоретической основы, методологии проектирования СОИ с интегральными элементами. И начинать восполнять этот недостаток, полагаем, нужно с установления общих принципов формирования СОИ с интегральными полетными параметрами, поиска методов объективной оценки их качества.

СУТЬ ПРИНЦИПОВ

Потенциально заложенные в СОИ с ИПП достоинства определяются тем, что в традиционных СОИ с раздельной, преимущественно цифровой визуализацией параметров достигнуты почти предельные возможности по всем основным составляющим качества систем: информативности, адекватности представления пилотажно-навигационной информации управляющим действиям пилота, селективности или структурированности подачи этой информации [2].

Современное техническое оснащение СОИ на цветных дисплеях или жидких кристаллах и информационно-компьютерное их обеспечение допускают широкое использование аналоговой визуализации пространственного положения ВС и его динамики, комплексную визуализацию ряда ПП одним ИЭ, при которых отражается специфика выполняемых пилотажных задач. Удачное аналоговое представление пилотажно-навигационной видеоинформации должно упрощать пилоту выделение из информационного поля необходимой по полетной ситуации информации и ее переработку: возникает возможность предъявления пилоту данных в форме, приближающейся к оперативной образно-концептуальной модели основных пилотажных задач, что может значительно снизить уровень психофизиологической загрузки пилота при его взаимодействии с системой.

ТЕОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СОИ

Изобразительный элемент любого типа производит преобразование визуализируемых им полетных параметров, значения которых — случайные величины. Согласно фундаментальному положению теории информации преобразование случайной величины не увеличивает количества содержащейся в ней информации, поэтому ИЭ принципиально не способен дать дополни-

тельную информацию о динамике визуализируемых им ПП. Однако при выполнении основных пилотажных задач пилоту нужна информация о близости значений полетных параметров к предельно допустимым, а также взаимосвязи динамики различных ПП. Обоснованная реализация ИЭ ИПП должна предоставлять экипажу воздушного судна именно такую дополнительную информацию как для повышения информативности СОИ, так и адекватности информации необходимым управляющим действиям пилота.

Очевидным требованием к ИПП является его информативность — способность предоставлять пилоту всю нужную для выполняемой пилотажной задачи информацию о динамике визуализируемых им параметров. Однако понятие информативности как отдельного ИПП, так и всей СОИ противоречиво, поскольку не учитывает объективную ограниченность психофизиологических возможностей пилота по приему и переработке данных. В то же время превышение потоком приборной информации определенных пределов способности пилота к ее восприятию затрудняет ему выделение из СОИ действительно необходимой по полетной ситуации информации, что приводит к ухудшению использования ИПП и системы в целом [2].

Одним из числовых показателей информативности, в котором учтено отмеченное противоречие, считается показатель $\lambda_{ИПП}$ относительной зрительной загрузки пилота по ИПП. Его аналитический вид будет представлен ниже и характеризует он минимально необходимые для достижения заданного качества пилотирования временные затраты пилота на взаимодействие с ИПП.

Особенность оценки зрительной загрузки пилота заключается в том, что получаемые теоретически, по информативным частотам «собранных» в ИПП полетных параметров значения показателя $\lambda_{ИПП}$ и теоретические значения оптимальной вероятности $P_{ИПП}$ наблюдения ИПП пилотом характеризуют исключительно совместимость полетных параметров, визуализированных ИПП, в то время как эмпирическое значение показателя $\lambda_{ИПП}$ и эмпирическое значение вероятности наблюдения ИПП пилотом отражают и совместимость объединенных полетных параметров, и качество





технической реализации изобразительного элемента.

Для минимизации зрительной загрузки пилота определяющим требованием выступает следующее: на этапах полета при выполнении пилотажных задач, вызывающих предельно высокую нагрузку по пилотажно-навигационной информации, ИПП не должен искусственно повышать долю каждого из представленных в нем ПП в общем распределении зрительного внимания пилота сверх оптимальной доли этого ПП. В СОИ с индикатором воздушных порывов, теоретически позволяющей пилоту вести контроль полетных параметров по их удвоенным информативным частотам, такое повышение возникает при визуализации на ИПП полетных параметров с большим разбросом в значениях их информативных частот.

Действительно, включенные в ИПП параметры с низкими информативными частотами будут избыточно часто контролироваться пилотом, ибо минимально необходимая частота контроля совпадает с удвоенной максимальной из информативных частот визуализированных ИПП полетных параметров, а любое обращение пилота к ИПП неизбежно сопровождается снятием избыточной для выполнения пилотажной задачи информации о динамике ПП с малыми информативными частотами. Следствием этого является искусственное повышение зрительной загрузки пилота по ИПП и СОИ в сравнении с аналогичной нагрузкой по СОИ с раздельной визуализацией ПП. Таким образом, обязательным условием для эксплуатационной совместимости нескольких ПП в интегральном показателе становится близость значений информативных частот полетных параметров.

Аналитический вид показателя относительной зрительной загрузки пилота по ИПП определяется формулой:

$$\lambda_{\text{ипп}} = T_{\phi} \cdot f_{\text{ипп}} + T_n \cdot f_{\text{ипп}}, \quad (1)$$

где T_{ϕ} — средняя продолжительность снятия пилотом информации при его однократном обращении к ИПП; $f_{\text{ипп}}$ — информативная частота ИПП, равная удвоенной максимальной из информативных

частот визуализируемых на ИЭ ИПП полетных параметров. Значение $f_{\text{ипп}}$ соответствует минимально необходимой для обеспечения заданного качества пилотирования частоте зрительных обращений пилота к ИПП; T_n — средняя продолжительность переноса взгляда пилота с одного элемента СОИ на другой, установленная экспериментально и обычно близкая к $T_n^0 = 0,1$ с [3].

Значение $\lambda_{\text{ипп}}$ равно доли времени, необходимой пилоту для контроля всех объединенных в ИПП полетных параметров при заданном качестве выполнения пилотажной задачи, в общей продолжительности пилотажных этапов и, таким образом, дает теоретическую оценку зрительной нагрузке пилота в рамках ИПП.

Для задачи стабилизации ВС на глиссаде при заходе на посадку минимально возможное значение T_{ϕ} устанавливается методом, который основан на расчете количества информации, требуемого пилоту, чтобы стабилизировать каждый ПП в пределах его допустимых отклонений [4].

Пусть T — продолжительность снижения ВС по глиссаде в секундах. Тогда $N_{\text{ипп}} = T \cdot f_{\text{ипп}}$ — минимально необходимое число зрительных обращений пилота к ИПП на этой фазе посадки. Обозначим через $I_{\text{ипп}}$ (бит) суммарное количество информации, нужное пилоту для стабилизации всех ПП, представляемых ИПП. Величина $I_{\text{ипп}} / N_{\text{ипп}}$ (бит/обращение) характеризует среднее количество информации, которое надо снять с ИПП за одно зрительное обращение к нему. При максимальной скорости V_I (бит/с) переработки пилотажно-навигационной информации зрительным каналом пилота (обычно предполагается, что V_I находится в пределах 4–5 бит/с) средняя продолжительность снятия информации с ИПП при его однократном использовании составит:

$$T_{\phi} = (I_{\text{ипп}} / N_{\text{ипп}}) / V_I = I_{\text{ипп}} \cdot V_I / N_{\text{ипп}} \quad (\text{с/обращение}). \quad (2)$$

Полученное по данной оценке T_{ϕ} значение $\lambda_{\text{ипп}}$ позволяет на начальных этапах разработки ИПП объективно установить, является ли использование данного типа ИПП допустимым по зрительной нагрузке, так как по значению $\lambda_{\text{ипп}}$ рассчитывается показатель λ относительной

зрительной загрузки пилота по СОИ с ИПП и объективно выясняется, не приводит ли применение этого интегрального показателя к недопустимому возрастанию загрузки [5].

ОЦЕНКА ЭРГОНОМИКИ

При положительном решении вопроса целесообразности использования данного ИПП после разработки технической формы его визуализации (определенного вида ИЭ ИПП и компоновки СОИ с изобразительными элементами полетных параметров на этапах макетных и натурных испытаний) объективная оценка эргономического качества СОИ с ИПП и ИЭ ИПП проводится по системе обобщенных числовых показателей.

Расчет показателя λ относительной зрительной загрузки пилота по СОИ с ИПП может выполняться стандартным методом в предположении, что ИЭ ИПП является отдельным прибором или узлом СОИ.

Для оценки СОИ с ИПП по траекторно-вероятностному показателю Q и структурному показателю QS определяется теоретически оптимальная вероятность $P_{ипп}$ наблюдения пилотом ИПП: $P_{ипп} = \lambda_{ипп} / \lambda$ [5]. Значение $P_{ипп}$ характеризует теоретически оптимальную долю ИПП в общем распределении внимания пилота по элементам СОИ при его высокой зрительной нагрузке приборной информацией. По установленному значению $P_{ипп}$ находятся теоретически оптимальные вероятности переноса взгляда пилота по элементам СОИ и вероятности циклов в зрительном маршруте пилота по СОИ, используемые в структурном показателе QS .

Общая оценка СОИ с ИПП по показателям Q и QS проводится в предположении, что ИЭ ИПП является отдельным прибором или узлом системы. Возникающие для СОИ с ИПП особенности в выборе используемых в расчете показателя Q эталонных дисперсий полетных параметров, представленных на ИЭ ИПП, будут рассмотрены в следующем пункте.

Объективная числовая оценка качества ИЭ ИПП, включающая оценку его информативности, дается значением траекторно-вероятностного показателя $Q_{ипп}$. Для определения его аналитического вида предполагается, что: ИЭ ИПП визуализирует K

полетных параметров; $P_{ипп} = p$ – теоретически оптимальная вероятность наблюдения пилотом ИПП; q – эмпирическая вероятность наблюдения пилотом ИЭ ИПП, устанавливаемая при макетных или натурных испытаниях СОИ с ИПП; D_j – теоретически достигаемая при оптимальной вероятности наблюдения дисперсия j -го ПП (эталонная дисперсия); E_j – эмпирическая дисперсия j -го ПП, устанавливаемая при натурных (макетных) испытаниях СОИ с ИПП; $j = 1, \dots, K$. Тогда в принятых обозначениях:

$$Q_{ипп} = \frac{1}{2^{|p-q|}} \cdot \frac{\sqrt{K}}{\sqrt{\sum_{j=1}^K \frac{E_j}{D_j}}} \quad (3)$$

Очевидно, что при $D_j \leq E_j$ для каждого $j = 1, \dots, K$ $0 < Q_{ипп} \leq 1$, причем $Q_{ипп} = 1$ тогда и только тогда, когда $p = q$ и $E_j = D_j$ при каждом j , то есть когда теоретически оптимальная и эмпирическая вероятности наблюдения пилотом ИПП совпадают, а качество стабилизации каждого ПП, характеризующее его эмпирической дисперсией, идентично эталонному.

В зависимости от технических особенностей ИЭ ИПП выбор значения эталонной дисперсии входящего в интегральный показатель полетного параметра производится одним из двух способов:

– если ИЭ предоставляет пилоту возможность отдельного наблюдения j -го ПП по удвоенной информативной частоте f_j этого параметра, то есть ИЭ не вынуждает пилота искусственно завышать частоту контроля до $f_{ипп}$, то D_j полагается равной суммарной дисперсии частотных составляющих в диапазоне $(f_j, +\infty)$, не подавляемых стабилизирующим управлением этим ПП;

– если некоторый из ПП, входящих в ИПП, может наблюдаться пилотом только с частотой наблюдения всего ИЭ ИПП, минимально допустимое значение которой составляет $f_{ипп}$ Гц, то эталонная дисперсия D_j такого j -го ПП полагается равной суммарной дисперсии частотных составляющих полетного параметра в диапазоне $(0,5f_{ипп}, +\infty)$.

Анализ исходных для расчета $Q_{ипп}$ величин – значений дисперсий D_j и E_j каждого из входящих в ИПП полетных параметров – уже способен выделить неудачно визуализи-





рованный на ИЭ ИПП полетный параметр. Для него эмпирическая дисперсия E_j значительно по сравнению с остальными ПП превышает свое эталонное значение D_j . В свою очередь, малое по сравнению с эталонным значением D_j эмпирическое значение дисперсии E_j показывает, что ИЭ ИПП искусственно завышает частоту контроля пилотом j -го ПП и провоцирует пилота на избыточно высокочастотное стабилизирующее управление параметром.

Такой эргономический недостаток ИЭ ИПП увеличивает зрительную нагрузку, что вследствие возникающего у пилота дефицита времени может привести к недопустимому ослаблению контроля других параметров, не вошедших в ИПП. Само же значение траекторно-вероятностного показателя, рассчитанное по формуле (3), дает интегральную оценку ИЭ ИПП как по качеству стабилизации ПП, вошедших в ИПП, так и по близости характеристик структуры зрительной деятельности пилота по СОИ с ИПП к теоретически оптимальным: чем выше качество ИЭ ИПП, тем ближе значение $Q_{\text{ипп}}$ к единице.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшее развитие изложенных методов требует в первую очередь исследования эксплуатируемых СОИ с ИПП для установления нормативных значений введенных обобщенных показателей качества СОИ с совмещенной или аналоговой индикацией ПП.

Одним из реально разработанных ИПП является информация о заходе на посадку с визуализацией вектора полной энергии. Необходимость применения данной информации диктуется тем, что основной количе-

ственной характеристикой информационного поля СОИ выступает в этом случае значение показателя относительной зрительной загрузки пилота. Поэтому числовые величины этого показателя в совокупности с оценкой информационной загрузки пилота объективно подтверждают предельно высокую зрительную нагрузку летчика при заходе на посадку в сложных метеоусловиях и тем самым выделяют в качестве приоритетного направления профессиональную подготовку экипажа ВС и совершенствование СОИ. Иными словами, разработку такой организации системы, при которой снижается зрительная нагрузка пилота, а форма представления приборной информации в большей степени соответствует выполняемой пилотажной задаче.

Предполагаемое преимущество системы отображения информации с индикацией вектора полной энергии по сравнению с аналогами заключается в снижении показателя относительной зрительной загрузки пилота примерно на 25%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ошибки пилота: человеческий фактор/Пер. с англ. — М.: Транспорт, 1986.
2. Булгаков Д. Н. Математические методы эргономического проектирования СОИ самолета//Техника. Информатика. Экономика. Серия: Средства отображения информации. — М.: ВИМИ, 1994. — Вып. 1.
3. Кузнецов И. Б. Экспериментальные исследования зрительной деятельности пилота при пилотировании ВС с электронной системой отображения информации//Научный вестник МГТУ ГА. — 2011. — № 172.
4. Булгаков Д. Н. Информационные аспекты эргономического проектирования СОИ самолета//Техника. Информатика. Экономика. Серия: Средства отображения информации. — М.: ВИМИ, 1991. — Вып. 4.
5. Булгаков Д. Н., Столяров Н. Н. Объективные методы эргономической экспертизы СОИ самолета//Научный вестник МГТУ ГА. Серия: «Аэромеханика и прочность». — 2003. — № 59.

DATA DISPLAY SYSTEM WITH INTEGRAL FLIGHT PARAMETERS

Kuznetsov, Igor B. — Ph.D. (Tech), director of federal state unitary enterprise «Training center» (Saint-Petersburg).

The author analyzes the principles of compositing of flight information for the pilot of an aircraft and defines an index of minimum timetable for man – information environment interaction, necessary to ensure pilotage quality. The author studies the transition to analog visualization of parameters series. He examines superimposed analog and digital visualization of some flight parameters by one pictorial element like “scale-pointer” or by one fragment of common data field of data display system as integral flight parameter, tries to create a uniform theoretical basis and techniques to design data display system with integral parameters.

Key words: aviation, data display system, flight parameter, pictorial element, integral flight parameter.

Координаты автора (contact information): Кузнецов И. Б. — kuzn@smart.spb.ru