

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭРГОНОМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЕ

**Д.Н. Булгаков**

Для эргатической следящей системы, отслеживающей случайный гауссовский процесс, разработан расчетно-экспериментальный метод объективной оценки эргономического качества системы отображения информации (СОИ). Выдвинута концепция эргономически эталонной СОИ как методологической основы введенной системы обобщенных показателей эргономического качества СОИ.

For an ergative tracking system, which traces Gaussian random process, the educated estimate-experimental method for objective evaluation of ergonomic quality of information display system (IDS) has been developed. The conception of ergonomic reference IDS as a methodological basis for the introduced system of IDS generalized ergonomic quality parameters has been suggested.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Эргономика, эргатическая система, следящая система, система отображения информации, зрительная деятельность оператора, обобщенные показатели эргономического качества.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из сложнейших методологических проблем при планировании комплексных исследований в инженерной психологии является установление границ возможностей как эмпирических, так и теоретических методов исследования и организация взаимного дополнения этих методов. Еще в [1] было отмечено, что «технические системы, совместимые с характеристиками человека и присущими ему биологическими ограничениями, могут быть созданы только на базе количественного анализа и эксперимента при условии, что поведение человека и машины может быть описано в сопоставимых понятиях». Данная статья обобщает результаты работ [3]-[6], в которых проведено расчетно-экспериментальное исследование эргономического качества пилотажно-навигационной части системы отображения информации (СОИ) самолета при штурвальной посадке.

Динамика большинства технических систем описывается законами механики и дифференциальными уравнениями. Следовательно, для описания поведения человека-оператора (в дальнейшем – оператора) при управлении такими системами необходимо выделять те закономерности в деятельности оператора, которые имеют количественный характер.

В сложных системах «человек-машина-среда», которые в дальнейшем будут называться эргатическими системами, связующими звеньями между оператором и исполнительными техническими устройствами являются система отображения информации (СОИ) и органы

управления. СОИ предназначена для представления оператору необходимой для выполнения стоящих перед эргатической системой задач информации и информации о состоянии технической части эргатической системы. Поэтому эргономическое качество СОИ оказывает сильное влияние на эффективность и безопасность работы эргатической системы в целом.

В данной статье рассматривается проблема объективной оценки эргономического качества траекторной составляющей СОИ следящей системы (СС). Следящей системой называется техническая или эргатическая система, воспроизводящая исполнительным механизмом движение задающего устройства или, в общем случае, некоторый отслеживаемый процесс [2]. В современной технике СС часто являются элементами сложных технических комплексов, предназначенных для управления процессами различной природы. Например, в терминах теории СС описывается работа системы «пилот-самолет-атмосфера» при заходе на посадку по приборам в режиме штурвального управления. Под траекторной составляющей СОИ СС будем понимать ту часть СОИ, которая дает оператору СС визуальную параметрическую информацию о значениях и о динамике тех параметров, которые определяют физическое или механическое положение СС в ее фазовом пространстве, – так называемых траекторных параметрах (ТП). Для подробно исследованной в [3]-[6] системы «пилот-самолет-атмосфера» траекторной составляющей СОИ самолета является ее пилотажно-навигационная часть, которая при заходе на посадку дает пилоту информацию о траекторных параметрах самолета в его фазовом пространстве: о воздушной скорости самолета, его вертикальной скорости, высоте, углах атаки, тангажа, крена, курса, вертикальном и боковом отклонениях от глиссады. В дальнейшем изложении для краткости термин «траекторная составляющая» (СОИ) будет опускаться.

### 1.1. Методология исследования процесса взаимодействия оператора с СОИ СС

Основной целью исследования процесса взаимодействия оператора с СОИ СС является решение практически важной задачи создания объективных методов эргономической экспертизы СОИ СС. В основу разрабатываемых методов положено понятие эргономичности СОИ как меры соответствия между объективно необходимой для выполнения основной задачи СС – отслеживания с заданной точностью случайного процесса (математическая формализация этой задачи проведена в [2]) приборной информацией и той необходимой для достижения этой цели информацией, реальную возможность получения, восприятия и переработки в адекватное ситуации управление обеспечивает оператору с учетом его объективно ограниченных психофизиологических способностей данная СОИ. Но эргономичность СОИ проявляется только опосредовано, через характеристики процесса взаимодействия оператора с СОИ и обеспечиваемое СОИ качество управления следящей системой.

Процесс взаимодействия оператора с СОИ складывается из процессов сбора оператором приборной информации, ее переработки и управления. Процесс сбора оператором приборной видеоинформации проявляется как случайный процесс зрительного сканирования оператором элементов СОИ и в сложных эргатических системах отличается высокой динамичностью (например, при штатном заходе на посадку частота переносов взгляда пилота по элементам СОИ составляет  $1,7-2Гц$  [5]), что вследствие объективно ограниченных психофизиологических возможностей оператора требует надежного эргономического обеспечения этого процесса.

Трудности изучения процесса взаимодействия оператора с СОИ, имеющего цель создание объективных методов оценки эргономического качества СОИ, состоят в следующем [4]:

– оператор не может четко сформулировать принцип сбора приборной информации и объяснить закономерности этого процесса;

– как правило, неизвестно, какая конкретно информация нужна оператору в данный момент его работы;

– эмпирические методы (методы регистрации зрительного маршрута оператора по СОИ) только фиксируют сложившийся под влиянием исследуемой СОИ с ее эргономическими недостатками и выполняемой задачи тип зрительной деятельности оператора, но не выделяют эти недостатки СОИ и не дают ответа на основной вопрос: какие характеристики процесса сбора приборной информации должна обеспечить оператору СОИ? Поэтому основной задачей данного исследования процесса взаимодействия оператора с СОИ является определение случайных характеристик и установление зависимости качества работы СС от значений этих характеристик. Такая постановка задачи исследования определяет основной метод исследования – метод математического моделирования эргатической системы «оператор-СС-среда».

В предлагаемой математической модели процесса взаимодействия оператора с СОИ рассматривается управление СС по показаниям приборов. Методологической основой модели является одно из основных положений инженерной психологии, согласно которому цель является главным организующим фактором в деятельности человека-оператора. Цель задана оператору СС как сохранение значений всех траекторных параметров (ТП) СС в пределах заданных ограничений на их отклонения от значений на требуемой траектории СС в ее фазовом пространстве [2]. Связь между характеристиками необходимого управления следящей системой и характеристиками зрительной деятельности оператора устанавливается в данной модели принятием двух положений (методологических тезисов).

1. При высокой зрительной нагрузке оператора основные характеристики структуры его зрительной деятельности определяются необходимыми характеристиками управления следящей системой.

2. Связь характеристик структуры зрительной деятельности оператора и характеристик управления: каждой смене оператором управления некоторым ТП соответствует зрительное обращение оператора к этому ТП для выбора или контроля новых параметров управления.

Очевидно, что первый тезис является, по существу, частным случаем приведенного выше положения инженерной психологии об организующей роли цели в деятельности человека-оператора. Второй тезис представляет собой эргономическую интерпретацию известной теоремы отсчетов Котельникова-Шеннона [2].

Правомерность применения этих тезисов для построения модели процесса взаимодействия оператора СС с СОИ обоснована в [5] при сопоставлении рассчитанных по данной модели значений характеристик структуры зрительной деятельности пилота при заходе на посадку тяжелого самолета с их эмпирическими значениями, при котором установлена высокая степень их соответствия.

Представленная методология обеспечивает нахождение характеристик зрительной деятельности оператора, непосредственно не связанных с крайне сложными и недостаточно изученными процессами переработки видеоинформации в мозгу оператора. Поэтому по данной методологии фактически исследуется структура зрительной деятельности (СЗД) оператора, то есть динамика процесса зрительного сканирования оператором СОИ. Область применения данной методологии определяется ее построением: хорошее соответствие между теоретическими и эмпирическими значениями характеристик СЗД оператора можно ожидать при выполнении оператором СС задач, вызывающих высокую зрительную нагрузку оператора по СОИ, когда высокие требования к управлению СС, а, следовательно, и к процессу получения оператором приборной видеоинформации существенно снижают неопределенность в зрительной деятельности оператора.

На информационно напряженных для оператора этапах функционирования СС при отсутствии у оператора реального резерва времени определяющим для функционирования СС с заданным качеством является временной фактор: успевает ли оператор в данных условиях

получать с СОИ всю необходимую информацию и предоставляет ли СОИ оператору такую возможность? Временные затраты оператора при его взаимодействии с СОИ складываются из суммарного времени получения и переработки информации о динамике каждого ТП и времени, затрачиваемого оператором на переносы взгляда по элементам СОИ. Для отдельного ТП необходимые затраты оператора определяются минимально необходимой для управления этим ТП с данной точностью частотой  $f_{min}$  зрительных обращений оператора к изобразительному элементу (ИЭ) СОИ, поставляющему оператору информацию о данном ТП, и средней продолжительностью  $T_{\phi}$  фиксации взгляда оператора на этом ИЭ, так как получение и переработка оператором информации о динамике ТП происходит, как правило, за время фиксации его взгляда на ИЭ данного ТП. Средняя продолжительность  $T_n$  переноса взгляда оператора с одного элемента СОИ на другой элемент устанавливается эмпирически, для пилотажно-навигационной СОИ самолета  $T_{\phi} = 0,1с$ . Совокупность величин  $f_{min}$  (для каждого ТП),  $T_{\phi}$ ,  $T_n$  полностью определяет основные закономерности процесса взаимодействия оператора с СОИ через числовые характеристики СЗД оператора: относительную зрительную загрузку оператора по приборной информации  $\lambda$ , вероятностей  $P_{прибор}$  наблюдения оператором элементов (приборов) СОИ, вероятностей  $P_{переход}$  переноса взгляда оператора с одного прибора на другой и вероятностей  $P_{цикл}$  циклов (коротких замкнутых подмаршрутов) в зрительном маршруте оператора по СОИ.

Главенствующая роль временного фактора в процессе взаимодействия оператора с СОИ на информационно напряженных этапах работы СС требует от оператора организации взаимодействия с СОИ с минимально допустимыми для выполняемой задачи временными затратами и приводит к следующему определению оптимальности СЗД оператора по критерию минимизации зрительной нагрузки по приборной видеоинформации.

1. Выдерживание оператором минимально необходимых для теоретической возможности получения необходимой для обеспечения заданной точности отслеживания каждого ТП частот зрительных обращений к траекторным параметрам СС.

2. Организация оператором распределения зрительного внимания по элементам СОИ, обеспечивающего оператору правильное распознавание состояния СС.

Данное определение оптимальности СЗД оператора позволяет сформулировать перспективное для разработки объективных методов оценки эргономического качества СОИ эргономическое требование к СОИ: СОИ должна обеспечивать оператору возможность организации процесса его взаимодействия с СОИ с теоретически оптимальной СЗД, а объективные оценки эргономического качества СОИ можно получить по оценкам близости характеристик реальной СЗД оператора по СОИ к характеристикам оптимальной СЗД. Итоговым результатом этого исследования является введенная в п.1.2. система обобщенных числовых показателей эргономического качества СОИ СС.

Первым обоснованием практической ценности изложенной методологии являются представленные в [5] результаты расчетов теоретических значений характеристик СЗД пилота по пилотажно-навигационной части СОИ тяжелого самолета при заходе на посадку и сравнение их с эмпирическими значениями. Установлена высокая степень соответствия теоретических и эмпирических значений этих характеристик СЗД пилота, а отдельные расхождения в значениях этих характеристик указали на конкретные эргономические недостатки СОИ, которые пилот вынужден компенсировать ценой дополнительных временных затрат, организуя взаимодействие с СОИ с теоретически неоптимальными характеристиками.

## 1.2. Обобщенные числовые показатели эргономического качества СОИ СС

В основу представленных в данной статье объективных методов оценки эргономического качества СОИ СС положено, как отмечалось в п.1.1, понятие эргономичности СОИ – меры

соответствия между объективно необходимой для выполнения основной задачи СС – отслеживания с заданной точностью некоторого случайного процесса приборной информацией и той необходимой для достижения этой цели информацией, реальную возможность получения, восприятия и переработки в адекватной ситуации управление обеспечивает оператору с учетом его объективно ограниченных психофизиологических способностей данная СОИ. Но эргономичность СОИ проявляется только опосредованно, через характеристики процесса взаимодействия оператора с СОИ и обеспечиваемое СОИ качество управления следящей системой. При выполнении задач, вызывающих высокую зрительную нагрузку оператора по приборной информации, когда эргономическое качество СОИ оказывает наибольшее влияние на качество работы СС, базовыми характеристиками процесса взаимодействия оператора с СОИ являются минимально необходимые для работы СС с заданной точностью частоты наблюдения оператором траекторных параметров СС. Эти частоты, математический аппарат для нахождения которых разработан в [2], определяют значения основных характеристик СЗД оператора (см. п. 1.1.): вероятностей наблюдения изобразительных элементов (ИЭ) ТП и приборов, переходных вероятностей и вероятностей циклов, которые дают описание теоретически оптимальной СЗД оператора по критерию минимизации его зрительной нагрузки при получении всей необходимой для выполняемой СС задачи информации. Однако полученные значения характеристик теоретически оптимальной СЗД оператора могут не быть оптимальными для СЗД оператора при конкретной СОИ, так как присущие СОИ эргономические недостатки вынуждают оператора приспособляться к ним и переходить к неоптимальной организации контроля приборной видеоинформации для компенсации этих недостатков ценой временных потерь и ухудшения качества работы СС. Действительно, теоретически оптимальная вероятность наблюдения ИЭ показывает оптимальную долю ИЭ или прибора в общем процессе получения оператором информации с СОИ. Эмпирическая вероятность наблюдения ИЭ или прибора, отражающая его реальную долю в СЗД оператора, является весьма информативной эргономической характеристикой ИЭ или прибора, так как эта вероятность определяется средним временем  $T\phi$  снятия информации с прибора и частотой зрительных обращений к прибору. Поэтому эмпирическая вероятность наблюдения ИЭ или прибора характеризует как доступность для оператора визуализируемой информации при его обращении к ИЭ (через величину  $T\phi$ ), так и динамику процесса ее получения и, следовательно, при сопоставлении с теоретически оптимальной вероятностью может отражать меру эргономичности ИЭ или прибора. Основным критерием эргономической неоптимальности отдельного ИЭ является значительное превышение эмпирического значения вероятности наблюдения этого ИЭ оператором ее теоретически оптимального значения. Такое расхождение вероятностей указывает на искусственное повышение изобразительным элементом доли представляемого им ТП в общем балансе распределения внимания оператора, что может быть следствием возникающих у оператора затруднений при снятии информации с данного ИЭ, искусственного завышения частоты предъявляемой информации, возникающего в результате визуализации избыточно высоких частот динамики ТП, чрезмерной точности предъявления ИЭ информации, недостаточной визуализации производной ТП и т.д. Эргономические недостатки отдельных ИЭ и организации СОИ в целом могут проявляться также в расхождении эмпирически установленных для исследуемой СОИ и теоретически вычисленных, эталонных вероятностей циклов в зрительном маршруте оператора по СОИ. Эти расхождения могут указывать как на целесообразность комплексной визуализации нескольких ТП на данном приборе, так и на малоинформативную визуализацию некоторого ТП, которую оператор пытается скомпенсировать за счет получения дополнительной информации об этом ТП через динамику связанного с ним хорошо визуализированного на другом приборе траекторного параметра.

Таким образом, для конкретной СОИ имеется два описания СЗД оператора: первое – совокупностью теоретически оптимальных значений характеристик СЗД; второе – совокупностью эмпирически устанавливаемых значений характеристик СЗД. Оценка меры соответствия реальной СЗД оператора по СОИ и достигаемого при этой СОИ качества функционирования СС теоретически оптимальной СЗД оператора и теоретически достигаемого качества функционирования СС положена в основу разработанного метода оценки эргономического качества СОИ. Математическая формализация этого метода приводит к определению трех обобщенных числовых показателей эргономического качества СОИ. Показатель относительной зрительной нагрузки оператора устанавливает допустимый по временному фактору процесса взаимодействия оператора с СОИ количественный состав визуализируемых СОИ ТП; траекторно-вероятностный показатель дает оценку СОИ по суммарному эргономическому качеству ее приборов и точности работы СС; структурный показатель дает оценку эргономического качества компоновки СОИ.

Для определения аналитических видов этих показателей предполагается, что выполняемая СС задача требует зрительного контроля оператором  $N$  ТП с минимально необходимой частотой  $f_i$  Гц наблюдения  $i$ -го ТП. Эти  $N$  ТП визуализированы на  $K$  приборах или узлах СОИ,  $f_n$  – минимально необходимая частота зрительных обращений оператора к  $n$ -му прибору, равная максимальной из частот  $f_i$  наблюдений ТП, визуализированных этим прибором;  $T_n$  – среднее время переноса взгляда оператора с одного прибора на другой (обычно  $T_n = 0,1$  с);  $T_{\phi, i}$  – среднее время снятия оператором информации с ИЭ, визуализирующего  $i$ -ый ТП, которое находится либо эмпирически, либо расчетным путем через поток информации по  $i$ -му ТП СС [2] и эмпирически установленную оценку пропускной способности зрительного канала оператора, составляющую 4-5 бит/с.

Показатель  $\lambda$  относительной зрительной загрузки оператора по траекторной информации определяется формулой

$$\lambda = \sum_{i=1}^N T_{\phi, i} f_i + T_n \sum_{n=1}^K \bar{f}_n.$$

Значение  $\lambda$  равно той минимальной части общей продолжительности этапа работы СС, которую оператор должен затратить на контроль траекторной информации для достижения заданного качества работы СС. Для теоретической возможности достижения оператором заданного качества работы СС и контроля приборной информации значение  $\lambda$  должно быть меньше 1. Вследствие того, что показатель  $\lambda$  зависит от числа предъявляемых оператору ТП и характеризует временные возможности оператора по обеспечению требуемого контроля приборной видеоинформации, показатель  $\lambda$  отражает допустимый по эргономическим ограничениям количественный состав СОИ.

В определении траекторно-вероятностного и структурного показателей входят следующие величины: пусть  $p$  и  $q$  – теоретически оптимальная и эмпирическая вероятности наблюдения оператором  $i$ -го прибора;  $K_i$  – число ТП, визуализированных  $i$ -ым прибором;  $D_j$  – теоретически достигаемая при теоретически оптимальной СЗД оператора дисперсия ошибки отслеживания СС  $j$ -го ТП;  $E_j$  – эмпирическая ошибка отслеживания СС  $j$ -го ТП;  $p_{c, i}$  и  $q_{c, i}$  – теоретически оптимальная и эмпирическая вероятности  $i$ -го цикла в зрительном маршруте оператора. Расчет вероятностей  $p_i$  и  $p_{c, i}$  производится по минимально необходимым частотам наблюдения оператором ТП. Для произвольного вектора  $x = (x_1, \dots, x_n)$  обозначим через  $\|x\| = (x_1^2 + \dots + x_n^2)^{1/2}$  его норму.



Траекторно-вероятностный показатель  $Q$  эргономического качества СОИ определяется формулой

$$Q = \frac{1}{\|p\| \cdot \|q\|} \cdot \sum_{i=1}^K p_i q_i \sqrt{\frac{K_i}{\sum_{j=1}^{K_i} \frac{E_j}{D_j}}}.$$

Оценка СОИ по показателю  $Q$  происходит в результате сравнения близости вектора  $q = (q_1, \dots, q_k)$  эмпирических вероятностей наблюдения приборов к вектору  $p = (p_1, \dots, p_k)$  теоретически оптимальных вероятностей и оценки точности работы СС. Эргономическая основа оценки СОИ по показателю  $Q$  состоит в том, что недостатки СОИ отражаются на распределении внимания оператора по приборам и на качестве работы СС. Эргономические недостатки отдельного прибора вызывают у оператора затруднения в получении с него информации, что приводит к значительному увеличению продолжительности фиксации взгляда на приборе и, следовательно, к увеличению эмпирической вероятности его наблюдения, или, возможно, к уменьшению эмпирической вероятности при попытках оператора скомпенсировать малую информативность прибора получением информации о динамике визуализируемых этим прибором ТП через динамику коррелирующих с ними ТП, хорошо визуализированных на других приборах. Теоретически оптимальные вероятности  $p$  определяют долю каждого прибора в оптимальном распределении зрительного внимания оператора по СОИ, не имеющей эргономических недостатков. Оптимальность такого распределения внимания для обеспечения требуемого качества контроля приборной информации следует из того, что при предельной нагрузке оператора по приборной видеоинформации искусственным превышением оператором доли некоторого прибора над теоретически необходимой неизбежно влечет недопустимое ослабление контроля оператором других приборов. Поэтому устанавливаемая показателем  $Q$  мера близости векторов  $p$  и  $q$  отражает суммарное эргономическое качество приборов СОИ. Квадратный корень с суммой отношений дисперсий введен в  $Q$  для учета обеспечиваемого СОИ качества отслеживания СС всех ТП: он характеризует в среднем квадратичном точность отслеживания ТП, визуализированных  $i$ -ым прибором, относительно эталонной точности их отслеживания, которая теоретически обеспечивается эргономически совершенным прибором. Значения показателя  $Q$  заключены между 0 и 1, причем чем выше эргономическое качество приборов СОИ, тем ближе значение  $Q$  к 1.

Структурный показатель  $QS$  оценивает СОИ по степени близости зрительного маршрута оператора по приборам к теоретически оптимальному маршруту. Пусть  $p_c = (p_{c,1}, \dots, p_{c,L})$ ,  $q_c = (q_{c,1}, \dots, q_{c,L})$  – векторы теоретически оптимальных и эмпирических вероятностей основных циклов в зрительном маршруте оператора по приборам СОИ. Структурный показатель определяется формулой

$$QS = \frac{1}{\|p_c\| \cdot \|q_c\|} \sum_{i=1}^L p_{c,i} q_{c,i}.$$

Значения  $QS$  заключены между 0 и 1, причем  $QS=1$  тогда и только тогда, когда эмпирические вероятности циклов в зрительном маршруте оператора совпадают с теоретически оптимальными. Поэтому значение показателя  $QS$  является эргономической оценкой компоновки СОИ.

Введенная система обобщенных показателей дает объективные числовые оценки основным составляющим эргономичности СОИ: соответственно предъявляемой информации

возможностям оператора по ее восприятию, качеству представления информации и обеспечиваемому СОИ качеству работы СС. Область практического применения этой системы обобщенных показателей не ограничивается исследованием соответствия находящихся в эксплуатации типов СОИ эргономическим требованиям и задачей выбора наиболее совершенной в эргономическом отношении СОИ из нескольких конкурирующих образцов. Проведенное по системе обобщенных показателей исследование нескольких типов авиационных пилотажно-навигационных СОИ установило возможности этой системы определять конкретные недостатки СОИ и способы их устранения, то есть определять и обосновывать направления эргономического совершенствования СОИ СС.

### 1.3. Концепция эргономически эталонной СОИ СС

Для представленного в п.1.2. метода объективной оценки эргономического качества СОИ содержательной в методологическом отношении интерпретацией полученного описания теоретически оптимальной СЗД оператора является концепция эргономически эталонной СОИ (ЭСОИ). Введение понятия ЭСОИ основывается на предположении о том, что теоретически оптимальную СЗД оператора может обеспечить только свободная от эргономических недостатков СОИ. Но любая техническая реализация СОИ может иметь эргономический недостаток, поэтому естественно считать, что теоретически оптимальные характеристики СЗД оператора являются характеристиками его СЗД по некоторой абстрактной, эргономически эталонной для выполняемой СС задачи СОИ. В этой абстрактной СОИ, элементный состав которой тождествен составу исследуемой СОИ, ТП не связаны с конкретными техническими типами их ИЭ, поэтому такая абстрактная СОИ теоретически свободна от недостатков, возникающих при технической визуализации ТП изобразительными элементами и при компоновке изобразительных элементов. Несмотря на то, что ЭСОИ является абстрактным понятием, изначально описываемым только совокупностью теоретически оптимальных характеристик СЗД оператора и теоретически достигаемого качества работы СС, проведенные исследования авиационных пилотажно-навигационных СОИ показали, что для директорного захода на посадку тяжелого самолета используемая система теоретически оптимальных характеристик СЗД пилота определяет весьма конкретный вид ЭСОИ как по количественному составу представляемых пилоту траекторных параметров, так и по компоновке их изобразительных элементов, которая оказалась близка к стандартной компоновке электромеханической СОИ и командно-пилотажного индикатора СЭИ-85.

Введение понятия ЭСОИ создало крайне необходимый для разработки объективных методов эргономического исследования СОИ СС эталон, сравнение с которым обеспечивает получение объективных числовых оценок эргономического качества конкретных типов СОИ, и объективировало очень сложное понятие эргономического качества СОИ. Нетрудно увидеть, что оценки СОИ по введенной системе обобщенных показателей получаются в результате сравнения эмпирических характеристик СЗД оператора и качества работы СС при исследуемой СОИ с теоретически оптимальными характеристиками при ЭСОИ и с теоретически достигаемому при ЭСОИ качеству работы СС.

Дальнейшее развитие концепции эргономически эталонной СОИ эргатической системы связано с математической формализацией возможно более широкого круга задач, выполняемых эргатическими системами, с определением объективных показателей качества их выполнения, а также с установлением зависимости качества выполнения этих задач от характеристик процесса взаимодействия оператора с СОИ.



**ЛИТЕРАТУРА**

1. Шеридан Т.Б., Феррелл У.Р. Системы человек-машина. – М.: Машиностроение, 1980.
2. Булгаков Д.Н. Следящие системы с дискретным вводом информации// Моделирование и анализ данных. – М.: МГППУ. – 2011. – №1. – С.76-86.
3. Булгаков Д.Н. Математические методы эргономического проектирования СОИ самолета // Техника. Информатика. Экономика. Сер. СОИ. – М.: ВИМИ. – 1994. – Вып.1 – С.3-11.
4. Булгаков Д.Н., Столяров Н.Н. Методология исследования процесса взаимодействия пилота с СОИ при математическом моделировании системы «пилот-ВС-атмосфера»// Научный вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. – М.: МГТУ ГА. - 2002. – №50. – С.61-65.
5. Булгаков Д.Н., Столяров Н.Н. О закономерностях процесса взаимодействия пилота с СОИ, определяемых аэродинамическими характеристиками ВС и заданной точностью пилотирования // Научный вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. – М.: МГТУ ГА. – 2002. – №50. – С.66-71.
6. Булгаков Д.Н., Столяров Н.Н. Объективные методы эргономической экспертизы СОИ самолета// Научный вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. – М.: МГТУ ГА. 2003. – №59. – С.51-56.

*Работа поступила 26.11.2012*