

УДК 681.518.3

## ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА ГРАФИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОМПЛЕКСА БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Никита Денисович СИЛИН*

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
E-mail: NDSilin@mail.ru*

*В статье предложен подход к решению задачи многокритериального выбора графической составляющей человеко-машинных интерфейсов для перспективных комплексов бортового оборудования с применением метода «Уверенных суждений».*

*Предложен ряд альтернатив интерфейсов, разработанных в соответствии с актуальными процессами и стандартами разработки ПО гражданской авиационной техники, для проведения оценки эффективности, основанной на вычислении критериев «управляемости» и «визуальной простоты», и дальнейшего выбора оптимального решения на основе полученных данных. Используемый метод многокритериального выбора позволяет снизить влияния субъективного фактора, повысить скорость принятия решений при проведении оценки эффективности системы.*

**Ключевые слова:** *человеко-машинный интерфейс, эргономика, система электронной индикации, система самолетовождения, задача многокритериального выбора.*

## AN APPROACH TO SOLVING THE PROBLEM OF MULTI-CRITERIA SELECTION OF GRAPHICAL COMPONENT FOR ADVANCED AVIONICS SYSTEMS HUMAN-MACHINE INTERFACES

*Nikita D. SILIN*

*Moscow Aviation Institute (National Research University),*

*E-mail: NDSilin@mail.ru*

*The article proposes an approach to solving the problem of multi-criteria selection of the graphical component for advanced avionics systems human-machine interfaces using the ‘Confident Judgments’ method.*

*A number of interface alternatives developed in accordance with current civil aircraft software development processes and standards are proposed for performance evaluation based on the calculation of ‘controllability’ and ‘visual simplicity’ criteria and further selection of the optimal solution based on the obtained data. The multi-criteria selection method used makes it possible to reduce the influence of the human factor and increase the speed of decision-making during performance evaluation of the system.*

***Keywords:** human-machine interface, ergonomics, electronic display system, flight management system, problem of multi-criteria selection.*

## Введение

Безопасность полетов летательных аппаратов (ЛА) является основополагающим фактором, учитываемым при проектировании, разработке и валидации программного обеспечения (ПО) для комплексов бортового оборудования гражданской авиационной техники. Несмотря на то, что количество авиационных происшествий в мире постоянно снижается, оно все равно остается на неудовлетворительном уровне. При этом одна из основных причин их возникновения — человеческий фактор [1, 2, 3]. По большей части ошибки экипажа происходят в процессе взаимодействия с воздушным судном. Зачастую они возникают из-за того, что при попытке пилота отреагировать управляющими воздействиями на события в окружающей среде или изменение характеристик ЛА, отображаемая системой индикации информация может быть неправильно интерпретирована из-за непредсказуемости, внезапности и срочности развития неблагоприятной ситуации [4]. На современных самолетах основным средством взаимодействия информации в системе «пилот — самолет» являются широкоформатные индикаторы. Вместе с большим количеством различных органов управления они составляют информационно-управляющее поле кабины, которое является одной из самых функционально нагруженных частей самолета. На самых загруженных участках полета неоптимальный с точки зрения нагрузки на экипаж человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) кабины может привести к катастрофе. В связи с этим при разработке ЧМИ инженерами тратится значительное количество усилий на создания альтернативных вариантов, учитывающих все аспекты эффективности интерфейса: интуитивно понятную логику отображения информации, ее внешнего вида, цветов, стилей шрифтов, положения и других аспектов, влияющих на когнитивную нагрузку на экипаж [5].

Для определения оптимальной альтернативы ЧМИ необходимо провести оценку эффективности графической информации каждого варианта и принять решения в сторону определенной альтернативы на основе проведенного анализа. На помощь инженерам в принятии решения в условиях многокритериальности приходят комплексы поддержки принятия решений, которые основаны на методах многокритериального выбора. Принятие решения — это процесс идентификации альтернатив и выбора среди них оптимальных вариантов основанных на ценностях и предпочтениях лица, принимающего решение (ЛПР). Понятие «оптимальности» имеет смысл с точки зрения ЛПР, которое, используя свой накопленный экспертный опыт, вырабатывает суждения по поводу выбора альтернативы из числа предложенных так, что в результате образуется наиболее приемлемый для ЛПР результат, который оценивается тем же ЛПР по выбранным критериям [6].

Оценка альтернатив ЧМИ и выбор оптимального варианта интерфейса с точки зрения представления графической информации на нем, который будет лежать в основе проектирования системы электронной индикации, является особо актуальной задачей в процессе разработки комплекса бортового оборудования.

Потенциальные ошибки в принятии неоптимальных решений на раннем этапе разработке эргономики системы могут повлечь за собой увеличение финансовых и временных ресурсов, а также нести риски доработок системы или отказа от выбранной альтернативы.

### **Проектирование графического составляющей человеко-машинного интерфейса**

Системы электронной индикации современных гражданских самолетов проектируются в соответствии с концепцией интегрированной модульной авионики. При данном подходе функции систем выделяются в логические разделы — функциональное программное обеспечение [7], например, в состав индикаторов может входить три независимых функциональных программных приложения, выполняющие функцию формирования изображения, функцию отображения данных в соответствии со стандартом ARINC 661 и функцию реконфигурации форматов индикации. Данное разделение предлагается использовать и при проектировании альтернатив систем индикации, что даст возможность применять его к воздушным судам (ВС) с различной архитектурой индикаторов, а также позволит использование спроектированной логики в дальнейшем жизненном цикле разработки ПО после валидации с летным составом. То есть, если используется только традиционный подход без применения стандарта ARINC 661, то соответствующая часть модели индикаторов не разрабатывается, и наоборот.

Стандарт ARINC 661 определяет правила взаимодействия между системой отображения информации и пользовательскими приложениями, под которыми понимаются различные самолетные системы, данные от которых необходимо отображать экипажу. Также он определяет набор простейших графических элементов, называемых «виджетами», с помощью которых строятся форматы индикации. Применение данного стандарта позволяет сократить расходы на разработку ЧМИ самолетных систем за счет следующих аспектов [8, 9]:

1. Архитектура, при которой функция управления отображением информации и функция формирования изображения на индикаторах разделяется на два независимых приложения, позволяет изменять внешний вид либо логику отображения без влияния друг на друга, благодаря чему пропадает необходимость в прохождении всех процедур валидации, верификации и сертификации для всех компонентов системы при модификациях только одной части.

2. Отсутствует необходимость разработки графических элементов отображения информации, так как все потребности в них закрываются виджетами, указанными в стандарте.

3. Определенный протокол между пользовательскими приложениями и системой индикации позволяет привлекать к разработке ЧМИ систем подрядчиков без необходимости согласования новых протоколов взаимодействия.

В настоящий момент стандарт ARINC 661 широко применяется для разработки интерактивных страниц, с помощью которых пилоты осуществляют настройку различных систем, таких как система самолетовождения или система управления радиосредствами. Одним из перспективных направлений развития систем индикации гражданской авиационной техники является его применение ко всем отображаемым форматам.

Процесс разработки ПО гражданской авиационной техники регламентируется стандартом KT-178C/DO-178C, в котором определены мероприятия и цели, выполнение которых необходимо для одобрения авиационными властями и допуску к процессу сертификации ВС [10, 11]. Достижение требуемых целей является очень трудоемкой задачей, в связи с чем используются различные подходы по автоматизации и упрощению данного процесса. Одним из таких подходов является модельно-ориентированный подход к разработке, в соответствии с которым различные программные аспекты систем, используемые для поддержания процесса разработки или верификации ПО, заменяются их абстрактным представлением, то есть моделью. Модельно-ориентированный подход регламентируется руководством P-331/DO-331, являющимся дополнением к KT-178C. Согласно требованиям данного документа, для использования модели в процессе разработки ПО она должна обладать следующими свойствами [12, 13]:

1. Должна быть полностью описанной с помощью явно определенной нотации моделирования, как графической, так и текстовой.
2. Должна содержать требования к ПО и/или описание архитектуры ПО.
3. Ее форма и тип позволяют проводить непосредственный анализ и оценку функционирования в процессах разработки и верификации ПО.

В авиационной промышленности одним из наиболее часто используемых инструментов для модельно-ориентированной разработки ПО является программный комплекс ANSYS SCADE. Модели, разработанные с его помощью, удовлетворяют требованиям P-331/DO-331

и представляют собой требования низкого уровня и/или описание архитектуры ПО, из которых потом может быть в автоматическом режиме сгенерирован исходный код или описание проекта ПО, являющиеся одними из самых трудозатратных артефактов разработки [14].

С использованием модельно-ориентированной разработки ПО, стандарта ARINC661, а также руководства по сертификации систем электронной индикации самолетов транспортной категории [15] были спроектированы альтернативы ЧМИ для дальнейшей валидации, сравнения и выбора оптимальной (рис. 1). Указанные альтернативы разработаны в соответствии с функционалом вычислительной системы самолетовождения (ВСС), применяемой в перспективных комплексах бортового оборудования гражданской авиационной техники, и отличаются расположением графических элементов на всех навигационных кадрах.

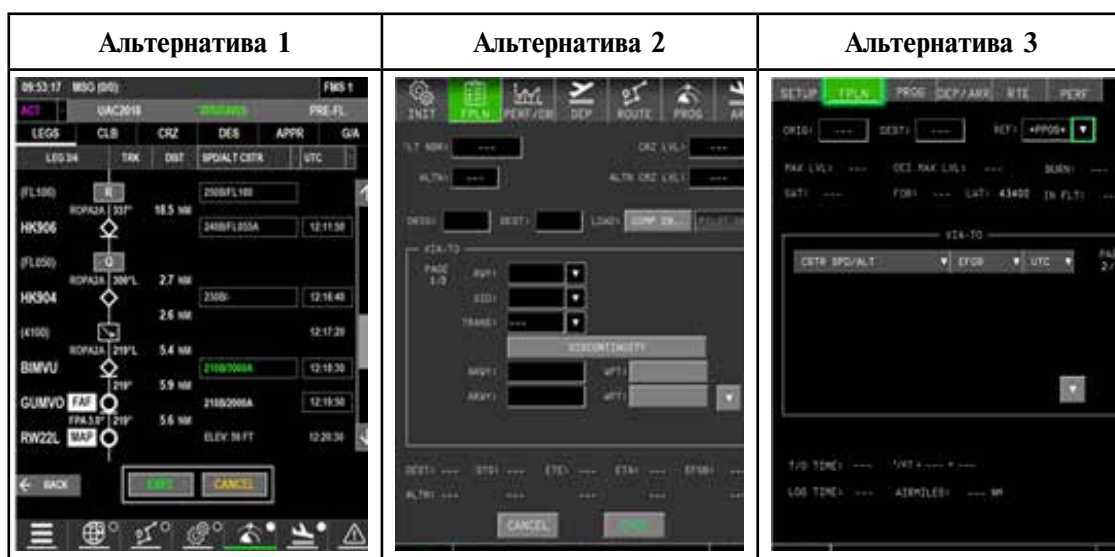


Рис. 1. Варианты исполнения альтернатив СОИ

### Валидация графического составляющей человеко-машинного интерфейса

В настоящее время существует достаточно большой объем методов оценки эффективности ЧМИ, которые в самом общем виде подразделяются на формализованные и неформализованные методы [16].

К неформализованным методам можно отнести следующие: карточная сортировка, фокус группы, анализ контекста, опрос пользователей, наблюдение за пользователями, параллельный дизайн, оценка прототипа, стилевые правила, быстрые прототипы, «раскадровка», анализ снимков экрана и сравнение их с эталонами, эвристические характеристики Якоба Нильсена и т. д.

Преимуществами данных методов являются:

- контроль корректности валидации проводится человеком;
- возможен поиск эстетических дефектов;
- анализ проводится согласно человеческому восприятию.

Основными недостатками этих методов являются:

- высокая стоимость проведения оценки;
- получение неточной, субъективной оценки;
- необязательно раскрывается причина проблем;
- высокие временные затраты;
- для правильного толкования данных необходим профессиональный опыт;
- требуется рабочая версия ИС;
- требуется наличие высокой квалификации у экспертов в области эргономики;
- не охватываются все аспекты взаимодействия пользователя с системой;
- на каждой итерации валидации ЧМИ требуется участие новых потенциальных пользователей целевой аудитории, не знакомых ранее с объектом валидации.

Данные недостатки не позволяют в должной степени использовать неформализованные методы при оценке современных ЧМИ, что требует поиска формализованных методов и подходов, исключающих высокие финансовые затраты и низкую точность исследований.

К формализованным методам можно отнести следующие существующие подходы: модели GOMS, объем перерабатываемой информации (Шенон К. Е.), ценность данных (Харкевич А. А.), избыточность (Парк К. С.), объем перерабатываемой информации (Хартли Р. В.), целостность (Емельянова Ю. Г.), информативность (Горячкин Б. С.), насыщенность (Горячкин Б. С.), сложность поиска (Емельянова Ю. Г.), наглядность (Диковицкий В. В.), селективность (Емельянова Ю. Г.), объем переработанной информации (Фаткин Л. В.), визуальная простота (Комбер — Мэлтби), визуальная простота (Стикел С.), закон Хика, интерпретируемость (Кузнецов Л. А.), лаконичность (Шенон К. Е.), структурность (Звенигородский А. С.), закон Фитса, декомпозиции ментальных операторов (Оксанич И. Н.), модель измерения сложности LOC-CC, предсказуемость (Алифиренко В. М.).

Достоинствами данных методов являются:

- низкая стоимость тестирования;
- высокая скорость проведения оценки;
- отсутствие зависимости сложности оценки от объема информации;

- отсутствие необходимости в участии потенциальных пользователей целевой аудитории;
- точность и научная обоснованность результатов.

Недостатками данных методов являются:

- высокая стоимость поддержки;
- применение определенного подхода возможно лишь для оценки одного или нескольких показателей эффективности ЧМИ;
- некоторые из подходов не актуальны для оценки современных ЧМИ.

В настоящей статье для оценки графической составляющей ЧМИ предлагается использовать формализованные критерии, описывающие визуальную и пространственно-временную составляющие ЧМИ: оценка «управляемости» интерфейсом, оценка «визуальной простоты» интерфейса.

Оценка «управляемости» интерфейсом производится следующим способом:

1. Определяется количество разделов/страниц на интерфейсе, которые содержат в себе функциональные виджеты.
2. Определяется количество функциональных виджетов в границах одного раздела/страницы ЧМИ.
3. Определяется количество альтернатив активации каждого функционального виджета в границах одного раздела/страницы.
4. Определяется скорость активации функционального виджета. За эталонное значение была взята скорость активации каждого функционального виджета, равная 1 секунде.
5. Вычисляется коэффициент «управляемости» ЧМИ по следующей формуле:

$$K = \sum_{i=1}^n \left( \frac{N_{f_i}}{N_{alt_i}} v_{a_i} \right),$$

где  $N_{f_i}$  — количество информационно-функциональных виджетов в определенной группе или окне ЧМИ;  $N_{alt_i}$  — количество альтернатив активации информационно-функциональных виджетов ЧМИ;  $v_{a_i}$  — скорость активации виджета ЧМИ;  $n$  — общее количество информационно-функциональных виджетов ЧМИ.

Чем выше полученное значение коэффициента «управляемости», тем проще управлять данным ЧМИ.



Оценка «визуальной простоты» интерфейса осуществляется по следующей формуле:

$$F = \frac{1}{N \sum_{i=1}^n p \log_2 p},$$

где  $N$  — количество свойств у виджетов (ширина, высота, удаленность от верхней и боковой границы окна ЧМИ),  $n$  — количество свойств у «виджетов»  $i$ -го класса,  $p$  — приоритет классов «виджетов»

### Обзор современных методов многокритериального выбора

Многокритериальная задача выбора характеризуется рядом особенностей: варианты альтернатив выбираются как по количественным, так и по качественным критериям; факторы, которые необходимо учитывать при решении задачи, не все поддаются количественному учету, часть из них учитывается на качественном уровне; не все зависимости между переменными объективны и не все они могут быть получены. Из этого следует, что ситуация многокритериального выбора связана с преодолением неопределенностей. Проводя анализ часто применяемых методов многокритериального выбора при оценке технической уровня сложных систем, можно выделить следующие [6, 17]:

1. MAUT;
2. Метод уступок;
3. Семейство методов ELECTRE;
4. Метод «Уверенных суждений».

#### *Метод MAUT*

Метод MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) имеет аксиоматическое обоснование. Это означает, что выдвигаются некоторые условия (аксиомы), которым должна удовлетворять функция полезности ЛПР. В случае, если условия удовлетворяются, дается доказательство существования функции полезности в том или ином виде. Основные этапы метода:

1. Построение однокритериальных функций полезности.
2. Проверка условий независимости по полезности и по предпочтению.
3. Определение весовых коэффициентов.

Таким образом, в основе МАУТ лежит использование весов (коэффициентов важности) критериев. При этом на ЛПР возлагается обязанность по определению этих коэффициентов с помощью чрезвычайно сложной процедуры формализации субъективных оценок экспертов, приводящей к построению однокритериальных функций полезности.

#### *Метод уступок (компромиссов)*

Этот метод, относящийся к прямым методам, требует большого количества сторонней информации и использует известные приоритеты критериев принятия решения. По методу уступок выбирается альтернатива с максимальным значением главного критерия (например, визуальная простота) и определяется, что увеличение визуальной простоты на ЧМИ не может быть меньше некоторого значения. Среди выделенных таким образом альтернатив выбирается та, которая имеет максимум (или минимум, в зависимости от направления оптимизации) и происходит дальнейшее сужение рассматриваемых альтернатив назначением возможного отступа от выбранного оптимума по второму критерию. Таким же образом рассматривается третий, четвертый и так далее критерии, пока не останется единственная альтернатива. Эта альтернатива будет являться оптимальной в результате применения метода уступок.

Легко видеть, что таким образом мы получаем только оптимальную альтернативу. Упорядочивание остальных альтернатив не происходит. Для того чтобы получить следующую по предпочтительности для ЛПР альтернативу, требуется повторить процесс, описанный выше, со всеми альтернативами, кроме оптимальной, возможно, привлекая дополнительную информацию назначения новых уступок по критериям.

Поиск и принятие решения при использовании данного метода осуществляется по следующему алгоритму.

Первым этапом все локальные критерии предварительно ранжируются по важности. Определяется самый важный критерий и находится наиболее оптимальное решение по нему. Далее выбирается следующий критерий (по важности). Как и в пункте 2 определяется оптимальное решение, но с тем отличием, что допускается потеря важности предыдущего критерия на какую-то величину (уступку). Процесс оптимизации решения по каждому критерию будет идти до тех пор, пока последний по важности критерий не будет рассмотрен.

#### *Семейство методов ELECTRE*

В процессе применения метода ELECTRE ЛПР исследует множество альтернатив, назначая индексы согласия и несогласия для гипотезы превосходства одной альтернативы над другой.

После попарного сравнения всех альтернатив строится граф, в котором направленная дуга означает превосходство одной альтернативы над другой, а отсутствие дуги — несравнимость альтернатив при назначенных уровнях согласия/несогласия. Формулы реализации методов ELECTRE неоднократно рассмотрены в литературе и в настоящей статье они не приводятся для краткости. Данные методы часто применяются для сужения множества Парето для получения обозримого количества альтернатив (например, двух), и далее, с использованием дополнительной информации, находится оптимальное решение. Хорошо известны слабые стороны семейства методов ELECTRE — это большая зависимость результатов от назначаемых индексов и шкал критериев.

### *Метод «Уверенных суждений»*

Суть метода «Уверенных суждений» заключается не на стремлении устранить неопределенность выбором конкретного способа получения функции ценности ЛПР, а использовать для принятия решения непосредственно все множество способов учета неопределенности, которое при установленной структуре оценочной функции описывается всем множеством допустимых значений вектора весовых коэффициентов критериев. Подробно метод описан в следующем разделе.

## **Принятие решения при выборе оптимальной альтернативы графической составляющей ЧМИ**

Целевая задача состоит в выборе наилучшей альтернативы ЧМИ по критериям эффективности графической составляющей. Нахождение такой альтернативы приведет к использованию системы ВСС в комплексе бортового оборудования, при работе с которой у пилота уменьшится затраченное время на выполнения задачи, к чему ведет уменьшенное время на информационный поиск, а также уменьшение количества ошибок пилота в связи с учетом критериев визуальной простоты и управляемости.

Анализ работ по решению задач многокритериального выбора [6, 17, 18, 19] показал, что для решения данных задач предпочтение отдается методам со сниженным влиянием субъективизма на принятие решением, одним из которых является метод «Уверенных суждений». Применим его к текущей задаче, подробнее описав алгоритм решения.

Для принятия решений в задачах многокритериального выбора методом «Уверенных суждений» предлагается использовать способы учета неопределенности, которые при установленной структуре оценочной функции описываются всем множеством допустимых

значений вектора весовых коэффициентов критериев, а не устранять неопределенности выбором конкретного способа получения функции ценности ЛПР. При этом в качестве структуры этой функции применяется свертка Ю. Б. Гермейера, поскольку во многих научных трудах по исследованию метода «Уверенных суждений» показано, что в классе непрерывных оценочных функций свойством идентифицировать любые парето-оптимальные решения обладает лишь она и функция ценности для альтернатив из множества  $A$ . В работе [19] описано, почему метод «Уверенных суждений» не уступает в точности результата методам многокритериального выбора, в которых используются точные числовые, а не расплывчатые значения весовых коэффициентов.

В данном методе от ЛПР не требуется выбор структуры оценочной функции и единственного значения весовых коэффициентов. Вместо этого ЛПР имеет возможность сформулировать лишь два вида суждений.

Уверенное суждение первого типа. При своей уверенности ЛПР может отнести выбранные частные критерии к различным группам важности. Например, критерий 1 наиболее важен, чем критерий 2, а критерий 3 имеет наименьшую важность. Стоит заметить, что не предполагается, что ЛПР дает количественную оценку степени сравнительной важности частных критериев, речь идет лишь об их качественном сравнении, притом необязательном.

Уверенное суждение второго типа. При желании ЛПР может сформировать пары парето-несравнимых векторов частных критериев, в отношении которых он уверен, что один из векторов «лучше» другого.

Эти суждения легко формулируются в виде ограничений на возможные значения весовых коэффициентов, сужающих множество [6].

Указанных суждений ЛПР достаточно для того, чтобы метод «Уверенных суждений» рассчитал для каждой альтернативы значения двух комплексных критериев оценки/рейтинга: «жесткого» и «мягкого».

Для решения задачи многокритериального выбора определения оптимальной альтернативы из конечного множества графических составляющих ЧМИ в настоящей статье вводится мера «Жесткий рейтинг» ( $R1$ ) в качестве относительной меры предпочтительности альтернативы при этом рассматривается все подмножество, на котором эта альтернатива оказалась наилучшей по значению оценочной функции в сравнении с другими альтернативами. Жесткий рейтинг альтернативы — это частота, с которой она оказывается наилучшей при использовании всех допустимых в решаемой задаче методов (т. е. способов учета неопределенности) оценки эффективности.

В текущем случае значение показателя альтернативы графической составляющей  $i$  по  $j$ -тому критерию оценки  $f^i(x_i) = x_{ij}$ , т. к. мы имеем дело с дискретными величинами, получаемыми с помощью

математических расчетов на этапе определения значения критериев. Оценочная функция для  $l$ -го варианта коэффициентов  $l$  для  $a_i$ -го графического интерфейса будет определяться по формуле

$$f_{il} = \sum_{j=1}^m x_{ij} a_i^j.$$

Тогда жесткий рейтинг для каждой альтернативы интерфейса будем вычислять по формуле

$$R1_i = \frac{\sum_{l=1}^K \sum_{i=1}^N B_{il}}{K},$$

где  $N$  — число альтернатив графических составляющих ЧМИ,  $K$  — число вариантов реализации вектора коэффициентов линейной свертки  $\bar{a}_i$ .  $B_{il} = 1$ , если при  $l$ -том варианте моделируемого мнения  $i$ -тый интерфейс оказался наилучшим ( $f_{il} > f_{kl}$ ,  $k = \overline{1N} \wedge i \neq k$ ). Если при каком-либо  $l$  лучшими оказываются несколько (например,  $q$ ) графических интерфейсов, то для жесткого рейтинга каждого интерфейса в числителе добавляется не 1, а  $1/q$  ( $B = 1/q$ ). Это необходимо при рассмотрении отношения суммы всех случаев для тех реализаций оценочной функции, когда альтернатива графической составляющей оказалась лучшей к числу всех «выигрышей» альтернативы.

При появлении ситуаций, при которых необходимо оценить не только «вероятность» того, что какая-либо из альтернатив будет предпочтительнее на всем множестве моделируемых экспертных мнений, но и среднюю сравнительную предпочтительность альтернативы по сравнению с другими графическими составляющими ЧМИ, вводится мера «Мягкий рейтинг» ( $R2$ ). Мягкий рейтинг альтернативы есть среднее значение свертки Гермейера, использующей эти коэффициенты, на всем множестве допустимых коэффициентов. Данная мера также эффективна для случаев, когда значения жестких рейтингов различных альтернатив оказались почти одинаковыми или равными нулю. Мягкий рейтинг рассчитывается по формуле:

$$R2_i = \frac{\sum_{l=1}^K \frac{f_{il}}{\max_{i=1}^N f_{il}}}{K},$$

где  $\max_{i=1}^N f_{il} > f_{kl}$  для  $\forall k = \overline{1N} \wedge i \neq k$ .

Рассмотрим пример с ограниченным количеством интерфейсов и критериев оценки для наглядности работы метода.

Дано: 3 альтернативы графических интерфейсов, как показано в разделе «Проектирование графического составляющей человеко-машинного интерфейса» с двумя показателями, которые имеют тренд на максимум. Шаг перебора для вычисления коэффициентов линейных сверток может быть произвольный, и чем меньше будет его значение, тем более точный получится результат. В текущей статье возьмем шаг перебора  $h = 0,25$ .

Нормализация исходных физических значений показателей, если они имеют тренд на максимум, выполняется по формулам:

Тренд на максимум:

$$x_{ij}^{norm} = (x_{ij} - \min_j(x_{ij})) / (\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})).$$

Тренд на минимум:

$$x_{ij}^{norm} = 1 - (x_{ij} - \min_j(x_{ij})) / (\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})),$$

где  $i$  — номер строки,  $j$  — номер столбца матрицы показателей.

Необходимо: определить наиболее предпочтительную альтернативу графического интерфейса.

Таблица 1. Расчет значений для определения выигрышной альтернативы ЧМИ

№	Альтернатива ЧМИ	Значение критериев		Нормированные данные		Коэффициенты линейной свертки		Оценочная функция $f_{ii} = \sum_{j=1}^m x_{ij} a_j^i$	Выигрыш
		$x_{i1}$	$x_{i2}$	$x_{i1}^{norm}$	$x_{i2}^{norm}$	$a_i^1$	$a_i^2$		
1	ALT1	3,42	0,35	0,69	1	0	1	1	*
	ALT2	2,34	0,18	0	0	0	1	0	
	ALT3	3,89	0,29	1	0,64	0	1	0,64	
2	ALT1	3,42	0,35	0,69	1	0,25	0,75	0,9225	*
	ALT2	2,34	0,18	0	0	0,25	0,75	0	
	ALT3	3,89	0,29	1	0,64	0,25	0,75	0,73	
3	ALT1	3,42	0,35	0,69	1	0,5	0,5	0,845	*
	ALT2	2,34	0,18	0	0	0,5	0,5	0	
	ALT3	3,89	0,29	1	0,64	0,5	0,5	0,82	
4	ALT1	3,42	0,35	0,69	1	0,75	0,25	0,7675	
	ALT2	2,34	0,18	0	0	0,75	0,25	0	
	ALT3	3,89	0,29	1	0,64	0,75	0,25	0,91	*
5	ALT1	3,42	0,35	0,69	1	1	0	0,69	
	ALT2	2,34	0,18	0	0	1	0	0	
	ALT3	3,89	0,29	1	0,64	1	0	1	*

В таблице выше (стр. 31) демонстрируется ход решения задачи. В последнем столбце отмечен графический интерфейс «\*», у которого оценочная функция при данной комбинации вектора коэффициентов линейной свертки оказалась максимальной.

Таким образом, жесткие рейтинги интерфейсов равны:

ALT1  $R1 = 3/5 = 0,6$ ; ALT2  $R1 = 0/5 = 0$ ; ALT3  $R1 = 2/5 = 0,4$ . Следовательно, наиболее предпочтительным оказался интерфейс «ALT1», т. к. вероятность того, что при всех возможных моделируемых экспертных мнениях он окажется в выигрыше, у него наивысшая.

Рассмотрим ситуации, когда бывает необходимо учитывать изначально известные условия о том, что какие-либо критерии имеют преимущество в оценке общего решения, чем другие, т. е. «уверенные суждения ЛПР». Например, экспертная группа решила, что должно соблюдаться обязательное условие  $a_i^1 \geq a_i^2$ , то из рассмотрения будут исключены варианты, где  $N = 4, 5$ . Следовательно, в данном случае в выигрыше окажется интерфейс «ALT3» с  $R1 = 2/3 = 0,66$ , а жесткие рейтинги у «ALT1» и «ALT2» будут равны  $R1 = 1/3 = 0,33$ ,  $R1 = 0/3 = 0$  соответственно. В данном примере интерфейс «ALT3» имеет выигрыш по получившимся комбинациям, в связи с этим введенное уверенное суждение существенно повлияло на результат, изменив выбор альтернативы.

### Заключение

В статье предложен вариант решения задачи многокритериального выбора графической составляющей ЧМИ с применением метода «Уверенных суждений». Применение данного метода позволяет существенно снизить влияния субъективного фактора по сравнению с аналогичными методами многокритериального выбора, а также повысить скорость принятия решений при оценке сложных технических систем за счет уменьшения затраченного времени на мероприятия выбора.

Приведенное решение является универсальным, поскольку не зависит от объекта исследования и подходит для проведения оценки эффективности и выбора оптимальной альтернативы любого варианта ЧМИ.

## Литература

1. *Артемов А. Д., Лысаков Н. Д., Лысакова Е. Н.* Человеческий фактор в эксплуатации авиационной техники. Монография. 2018.
2. Психологические аспекты человеческого фактора в авиации. // Вестник университета. 2014, № 2. – С. 250–253.
3. Психология человеческого фактора в авиации. // Человеческий капитал. 2013, № 9 (57). – С. 109–112.
4. *Иванов А. С.* Развитие информационного-управляющего поля кабин самолетов транспортной категории в части решения проблем взаимодействия с экипажем. // «Гагаринские чтения — 2021»: Сборник тезисов докладов. – Москва. – М.: МАИ. 2020. – С. 171–172.
5. *Силин Н. Д., Берсуцкая О. Д., Неретин Е. С.* Применение принципов психологического восприятия визуальной информации при проектировании и валидации графической составляющей человеко-машинного интерфейса системы самолетовождения объектов гражданской авиационной техники. // Навигация и управление летательными аппаратами, 2023, № 40. – С. 12 – 36.
6. *Голубев С. И., Малышев В. В., Пиявский С. А., Сыпало К. И.* Принятие решений в многокритериальных задачах на этапе обликowego проектирования авиационно-ракетной техники. – Известия РАН. Теория и системы управления, 2020, № 2. – С. 89 – 97.
7. *Поляков В. Б.* Архитектура перспективных комплексов управления бортовым оборудованием. / Поляков В. Б., Неретин Е. С., Иванов А. С., Будков А. С., Дяченко С. А., Дудкин С. О. // Электронный журнал «Труды МАИ», № 100, 2018.
8. ARINC Specification 661-5. Cockpit display system interfaces to user systems. – The USA: Annapolis. – 2013. – 563 p.
9. *Zheng Y., Lei X. Y.* Research and Implementation of Virtual Cockpit Panel Development Platform Based on ARINC 661. // Proceedings of 2014 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference. – Yantai, China. – 2014. – pp. 1 – 5.



10. DO-178C Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification. – The USA: Washington. – 2011. – 144 p.
11. Квалификационные требования КТ-178С. Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники. – М.: АР МАК. – 2016. – 131 с.: ил.
12. Руководство Р-331. Разработка и верификация на основе модели. Дополнение к документам КТ-178С и КТ-278А – М.: АР МАК. – 2016. – 119 с.: ил.
13. DO-331C Model-based development and verification. Supplement to DO-178C and DO-278A. – The USA: Washington. – 2011. – 136 p.
14. *Бурков А. Ю.* Модельно-ориентированная разработка программного обеспечения для критических по надежности встраиваемых систем с применением программного комплекса SCADe от компании Esterel technologies. / Насыров М. Б. // Решетневские чтения. – 2015, № 2. – С. 209–211.
15. Руководство 25-11А по сертификации систем электронной индикации самолетов транспортной категории.
16. *Вострых А. В.* Сравнительный анализ методов оценки человеко-машинных интерфейсов. / Вострых А. В. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: материалы VIII Международной научно-технической и научно-методической конференции, г. Санкт-Петербург, 27 – 28 февраля 2019 г. – СПб.: СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2019. – Т. 4. – С. 179–185.
17. *Семенов С. С., Щербинин В. В.* . Оценка технического уровня систем наведения управляемых авиационных бомб. М.: Машиностроение, 2015. – 326 с.
18. *Пиявский С. А.* Простой и универсальный метод принятия решений в пространстве критериев «стоимость – эффективность». // Онтология проектирования. 2014, № 3(10). – С. 89–102.
19. *Брусов В. С., Пиявский С. А.* Многокритериальный анализ концепций высотных беспилотных летательных аппаратов. // Изв. Вузов. Авиационная техника. 2016. № 4 – С. 9–12.