

В.А.Горшков, доктор технических наук,
профессор
А.И.Крутоверцев
А.А.Осадчиев, кандидат физико-математических наук

Оптимизация качества интерактивной электронной документации летательных аппаратов государственной авиации. Постановка задачи

В настоящее время интерактивная электронная документация (ИЭД) широко применяется при производстве, эксплуатации и на других этапах жизненного цикла летательных аппаратов, становясь серьезной альтернативой бумажной документации. Тем не менее, для государственной авиации до сих пор не были разработаны и четко регламентированы критерии для оценки качества ИЭД летательных аппаратов. Цель данной работы заключается в создании методологии по выработке системы требований, предъявляемых к свойствам ИЭД летательного аппарата, выполнение которых позволит максимизировать эффективность и функциональность использования ИЭД.

Введение и постановка задачи

Документация летательного аппарата (ЛА), как и в случае любой большой технической системы (БТС), является его неотъемлемой функциональной частью. Совокупность нормативных, технических, эксплуатационных, ремонтных и прочих документов, имеющих непосредственное отношение к ЛА в рамках данной БТС, определяет собой его систему документации (СД). Для каждой модели ЛА, являющейся продуктом серийного производства, соответствующая ей уникальная СД должна представлять собой конечный и завершенный набор человеческих знаний, достаточный для обеспечения правильного функционирования ЛА в течение всех этапов его жизненного цикла, начиная от его сборки на заводе-изготовителе и заканчивая мероприятиями по его утилизации. СД должна быть представлена в материальном виде, пригодном для восприятия человеком или вычислительной машиной, и удовлетворять условиям полноты, функциональности, стабильности и ряду других требований.

В условиях современного развития информационных технологий и непрерывного

роста вычислительных мощностей серийных процессоров СД для ЛА целесообразно реализовывать в форме ИЭД. ИЭД представляет собой совокупность структурированных данных и электронных носителей информации, связь между ними осуществляется с помощью файловой системы, которая, в общем случае, определяет формат данных ИЭД и способ физического хранения информации на электронных носителях. В число возможных форматов данных ИЭД наряду с текстовыми файлами входят различные медиаформаты, такие, как изображения, аудио- и видеозаписи. Файловая система, кроме непосредственной организации доступа к данным через электронные носители, с помощью системы утилит может предоставлять сервисные возможности, такие, как поиск по данным или организация шифрования и разграничения доступа. Непосредственными преимуществами ИЭД перед другими существующими формами СД, в первую очередь, бумажными носителями, являются ее сравнительно высокая скорость работы, простота создания, использования и эксплуатации, мобильность, малая портативность, интерактивность.

Актуальность данной работы определяется фактическим моральным устареванием бумажной документации и перспективой ее последовательного перевода в электронную форму. В то же самое время для ИЭД государственной авиации до сих пор не была разработана теоретическая база для оптимизации эффективности и функциональности ИЭД с точки зрения ее технических и экономических характеристик. В рамках данной работы, опираясь на методы системного моделирования и методы вариационного исчисления, будет представлена и обоснована методология оптимизации качества ИЭД ЛА государственной авиации.

Проблеме оптимизации качества ИЭД ЛА государственной авиации посвящен цикл из двух статей. Данная статья является первой частью цикла, в ней представлена математическая формализация и постановка задачи.

Общая макро модель ИЭД как части системы летательного аппарата

Первым шагом решения поставленной задачи будет разработка макро модели системы летательного аппарата (СЛА), в которой центральное место отводится ИЭД. В качестве основы для создания этой макро модели будет рассматриваться существующая рабочая макро модель БТС (РМБТС), описанная в работе [1]. Эта макро модель описывает взаимодействие БТС с внешней средой и человеком. Человек определяет внутреннюю структуру БТС на основе имеющихся внутренних ресурсов, а внешние условия являются входными

данными для работы получившейся БТС. Результаты работы БТС рассчитываются с помощью функции эффективности, которая зависит как от детерминированного поведения человека, так и от конфигурации внешних условий, которые могут иметь случайную природу или быть источником детерминированного хаоса для макро модели [2, 3].

Центральным понятием для РМБТС является понятие состояния БТС q , которое представляет собой оператор, ставящий в соответствие набору входных данных макро модели некоторый набор выходных данных. Конечное множество возможных состояний РМБТС, которое фактически является множеством доступных ресурсов, определяется как пространство существования модели $D_s = \{q\}$. Неопределенность состояния БТС, связанная с влиянием внешней среды, реализуется посредством введения функции P_s на пространстве существования модели D_s , которая задает вероятность реализации того или иного состояния БТС. Влияние человека на функционирование БТС в зависимости от ресурсов, распределенных в пространстве D_s , задается как элемент пространства функций $D_\phi = \{\phi(q)\}$, которая определяет конкретную реализацию организации БТС в зависимости от доступных ресурсов. Наконец, последним элементом РМБТС служит множество D_E , формализующее понятие эффективности работы БТС. Итак, РМБТС задается как вероятностное пространство $|D_E, D_\phi, D_s, P_s|$ (рисунок 1).

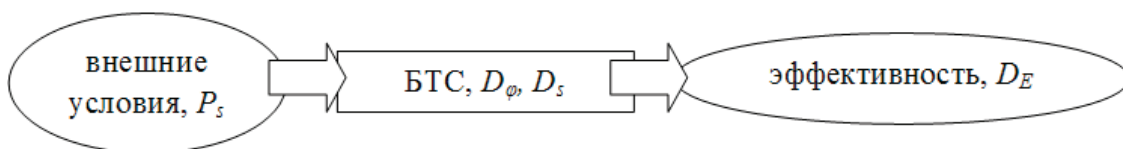


Рисунок 1 – Топология рабочей макро модели большой технической системы (РМБТС) (более подробно см. [1])

Центральным элементом в РМБТС служит вся БТС. Для того чтобы построить макро модель взаимодействия ИЭД с другими компонентами системы летательного аппарата (СЛА),

необходимо ввести ИЭД как центральный элемент в РМБТС. Для этого, в первую очередь, нужно разделить БТС на собственно ИЭД и прочие компоненты БТС, которые необходимо

вынести за рамки центрального элемента макромоделей. Это можно сделать, задавая прочие компоненты БТС как внешние условия для центрального элемента, т.е. как входные данные (как внешняя среда в РМБТС), однако их нельзя смешивать с внешней средой, а необходимо определить отдельно как внутренние условия. Внутренние и внешние условия, безусловно, взаимодействуют друг с другом, а также воздействуют на ИЭД в качестве входных данных. Далее наряду с пространством состояний ИЭД (т.е. по аналогии с РМБТС) необходимо определить систему свойств ИЭД, которые являются ее внутренней структурой. Это позволит рассматривать свойства ИЭД в качестве управляющих параметров, определяющих функционирование системы, а макромоделю – в качестве обоснования для выработки системы требований к ИЭД. Наконец, эффективность, которая играет роль выходных данных макромоделей, необходимо разделить на экономическую и техническую составляющие, т.е. отдельно рассматривать, с одной стороны, стоимость разработки и функционирования ИЭД и с другой – качество функционирования ИЭД.

Для каждой конкретной реализации ИЭД все технические характеристики, которые гипотетически могут быть присущи ИЭД, принимают конкретные значения, и весь список этих значений может быть зафиксирован в виде технического описания ИЭД. Таким образом, пространство возможных состояний ИЭД A определяется как множество всех возможных технических описаний совокупности характеристик ИЭД.

Внутренние условия (U), которые влияют на ИЭД (E), включают в себя внутреннее устройство ЛА, квалификацию эксплуатирующего и обслуживающего персонала, материально-техническое обеспечение и прочие внутренние факторы СЛА. Они налагают определенные ограничения и связи на структуру ИЭД. Так, например, степень секретности устройства ЛА накладывает целый комплекс требований к защите информации, содержащейся в ИЭД, а материально-техническая база, с помощью которой используется ИЭД, влияет на формат медиафайлов ИЭД. Так как управляющим фактором макромоделей должны стать свойства ИЭД (правильный выбор которых обеспечивает техническую и экономическую эффективность БТС), то управляющий фактор РМБТС, а именно, влияние человека на функционирование БТС, перестает быть управляющим фактором в новой макромоделе, и поэтому он также должен быть отнесен к внутренним условиям.

Внешние условия (O) как и в РМБТС влияют на центральный элемент макромоделей, которым в данном случае является ИЭД. Однако, также внешние условия влияют и на внутренние условия, вынесенные за рамки центрального элемента. Тем самым, выходные данные макромоделей, экономические (стоимость или, в более общей форме, ресурсоемкость ИЭД Q) и технические (качество технического функционирования ИЭД C), зависят от внешних и внутренних условий среды (рисунок 2).

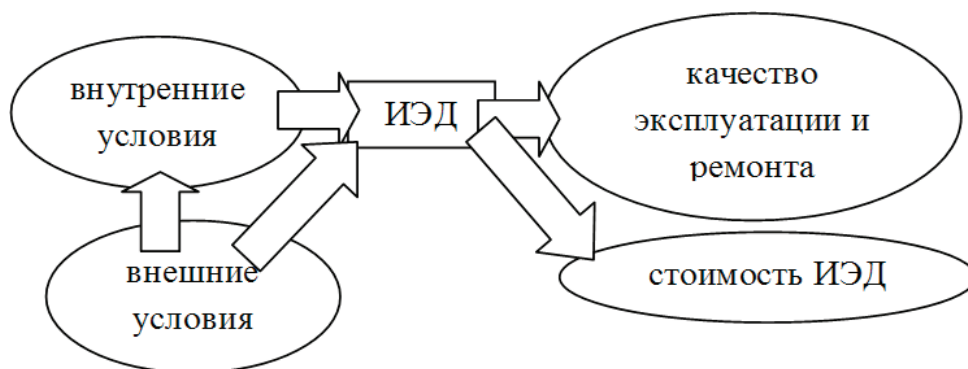


Рисунок 2 – Топология макромоделей большой технической системы летательного аппарата (БТС ЛА), центральным элементом которой служит интерактивная электронная документация (ИЭД)

Математическая формализация макромоде- ли ИЭД

Итак, в рамках представлений о топологической макромодели СЛА, известной из общей теории систем, вводится следующая структура ее составляющих элементов как формальных топологических объектов: E – ИЭД, A – пространство состояний ИЭД, U – внутренние конфигурационные условия (ВКУ), O – внешние условия (ВУ). Также для описания макромодели понадобится задать следующие формальные отображения, которые подробнее будут описаны ниже:

$L: E \times U \rightarrow R$ – структура ИЭД,

$Q: E \times A \times O \times U \rightarrow R$ – ресурсоемкость ИЭД,

$S: E \times A \times O \times U \rightarrow R$ – качество технического функционирования ИЭД.

Здесь и далее R будет обозначать множество действительных чисел.

1. Пространство существования макромоде-
ли S определяется через конечный фиксированный набор возможных свойств ИЭД S_i (СИЭД). Каждое СИЭД S_i представляет собой отображение пространства состояний ИЭД A на некоторое подмножество поля действительных чисел B_i , т.е. $S_i: A \rightarrow B_i$. B_i может быть дискретным подмножеством, если рассматривается качественное СИЭД, например, существование системы разграничения доступа в ИЭД, или непрерывным, если оно соответствует количественному СИЭД, например, размеру базы данных ИЭД. Ввиду представления о СЛА как о системе конечных элементов, во всем множестве возможных свойств S_i можно выбрать конечное подмножество независимых СИЭД мощности N , которое фактически будет определять ортогональный базис для E . Таким образом, E можно рассматривать как конечномерное функциональное пространство, порожденное совокупностью СИЭД $S_i, i=1, \dots, N$, имеющее областью определения пространство состояний ИЭД A , а областью значений R^N . Таким образом, $E = \{S_1, \dots, S_N\}: A \rightarrow B$:

$$E = E(A) = S_1(A) \times \dots \times S_N(A) = B_1 \times \dots \times B_N = B.$$

2. Понятие пространства состояний ИЭД A тесно связано с понятием ИЭД, определенным выше. Пользуясь общими принципами макромоделирования, совокупность элементов пространства A можно определять как набор всевозможных различных конфигураций, однозначно задающих конкретные значения на всем множестве свойств ИЭД. В частности, можно представить пространство A как совокупность всех возможных технических описаний a количественных и качественных свойств ИЭД, для каждого из которых существует и единственный элемент $b \in R^N$, такой, что: $E(a) = S_1(a) \times \dots \times S_N(a) = b_1 \times \dots \times b_N = b$. В силу своего определения как прообраза подмножества конечномерного евклидова пространства A является конечным или счетным множеством.

3. Множество U , соответствующее всевозможным различным ВКУ, параметризуется сходным образом с множеством A и также является конечным или счетным. Каждый элемент $u \in U$ задает систему связей и ограничений для множества СИЭД S_i . Ввиду определения E эту систему можно выразить как структуру ИЭД $L: E \times U \rightarrow R$, задаваемую системой равенств и неравенств L_i , переменными которой являются базисные СИЭД $S_i, i=1, \dots, N$ и элемент $u \in U$:

$$L_i(E, u) = L_i(S_1, \dots, S_N, u) = 0, i=1, \dots, k;$$

$$L_i(E, u) = L_i(S_1, \dots, S_N, u) \geq 0, i=k+1, \dots, m.$$

Таким образом, для каждого u система уравнений $L_i, i=1, \dots, k$ в общем случае снижает размерность базиса до $l \leq N$, а E уменьшает до собственного подпространства пространства нового базиса $\{S_1, \dots, S_l\}$ в $\{S_1, \dots, S_N\}$.

4. Множество ВУ, обозначаемое как O , по-видимому, является наиболее сложно параметризуемым объектом макромоде-
ли СЛА. Одним из ключевых свойств, которым в силу общих принципов системного проектирования, как правило, характеризуется воздействие ВУ на другие элементы макромоде-
ли, является его нелинейная природа, что в некоторых случаях может стать источником дина-

мического хаоса в поведении макромоделей. Множество O параметризуется сходным образом с множествами A и U и также является конечным или счетным.

5. Отображение Q , определяющее численное значение ресурсоемкости ИЭД E на основе заданных конфигурации свойств $a \in A$, ВКУ $u \in U$ и ВУ $o \in O$, служит одной из главных характеристик, учитываемых при разработке ИЭД. Управление значением Q происходит посредством вариации конфигурации свойств a , при этом должен учитываться выбор ВКУ и ВУ. Формальное описание отображения Q имеет следующий вид:

$$Q(E, a, u, o) = Q(S_1(a), \dots, S_N(a), u, o).$$

6. Семейство отображений C_i описывает влияние ВКУ и ВУ на качество технического функционирования ИЭД. Неравенства, налагаемые на отображения C_i , параметризуют технические характеристики, возникающие при эксплуатации ИЭД при заданных конфигурации свойств $a \in A$, ВКУ $u \in U$ и ВУ $o \in O$. Таким образом, конечный набор численных значений функций C_i служит индикатором для макромоделей СЛА, так как именно обеспечение определенного уровня качества технического функционирования ИЭД является необходимым условием функционирования СЛА в целом и, в частности, имеет большое значение для обеспечения безопасности полетов. Таким образом, общий вид условий и ограничений на качество технического функционирования ИЭД определяется с помощью конечной системы уравнений на отображения C_i следующим образом:

$$\begin{aligned} C_i(E, a, u, o) = C(S_1(a), \dots, S_N(a), u, o) &= 0, \\ i &= 1, \dots, s, \\ C_i(E, a, u, o) = C(S_1(a), \dots, S_N(a), u, o) &\geq 0, \\ i &= s+1, \dots, t. \end{aligned}$$

Постановка задачи оптимизации качества ИЭД

Описанная выше модель эксплуатации БТС ЛА может рассматриваться как динамическая система, входными данными для кото-

рой служат внешние и внутренние условия, меняющиеся с течением времени, а траектории представляют собой изменение оптимального набора свойств ИЭД при заданных условиях. Задача поиска этого набора, при котором ресурсоемкость и качество функционирования ИЭД удовлетворяют определенным ограничениям, может быть формализована методами вариационного исчисления. В этом случае поиск решения происходит с помощью принципа наименьшего действия для выбранной функции Лагранжа, которая и задает динамическую систему [4, 5]. Поэтому макромоделю можно рассматривать как лагранжеву динамическую систему. Для оперирования с системами такого типа разработан математический аппарат, на основе которого можно определить энтропию этой лагранжевой динамической системы и исследовать степень хаотичности траекторий макромоделей в зависимости от внешних и внутренних условий [6]. Таким образом, на основе разработанной макромоделей СЛА можно сформулировать условия для задачи оптимизации качества ИЭД. Каждая группа равенств и неравенств из числа сформулированных выше может служить как показателем качества функционирования ИЭД или ее эффективности, требующим максимизации, так и ограничивающим фактором в зависимости от конкретных условий, предъявляемых к СЛА. Таким образом, не только идентификация, но и разделение полученных математических соотношений на две эти группы являются значимыми частями постановки задачи.

Первой группой математических соотношений и одной из наиболее существенных качественных характеристик функционирования СЛА служит обеспечение определенного уровня качества технического функционирования ИЭД. В формальной макромоделе этой характеристике соответствует семейство отображений C .

Вторая группа математических соотношений, которую необходимо учитывать при разработке ИЭД, заключается в воспроизводстве

необходимой внутренней структуры и функциональности ИЭД в соответствии с требованиями нормативных документов, регулирующих сферу применения рассматриваемой СЛА, и реальными условиями эксплуатации. Данное свойство в макромодели СЛА описывается семейством отображений L .

Ввиду смысловой близости отображений из семейств C и L при формализации макромодели СЛА возможна выработка единого объединяющего семейства для параметризации внутренней структуры и функциональности ИЭД с одновременным обеспечением определенного уровня качества технического функционирования ИЭД.

Третья группа математических соотношений возникает в результате расширения первой и второй групп. В качестве количественного показателя при разработке ИЭД могут служить параметры дополнительной функциональности ИЭД, превышающей необходимые требования, описываемые первой и второй группами соотношений. В рамках макромодели эти параметры задаются на основе базисных свойств ИЭД S_i в пространстве существования ИЭД E .

Наконец, четвертой возможной группой математических соотношений, выражающей свойство оптимальности для ИЭД, является стоимость или ресурсоемкость ИЭД, которая задается формальным отображением Q .

Все четыре выделенные группы свойств могут служить в качестве показателей эффективности, за исключением второй группы, отображающей соответствие внутренней структуры ИЭД внешним требованиям. Поэтому на основе этих четырех групп математических соотношений, выражающих свойства оптимальности для ИЭД в составе СЛА, были сформулированы три наиболее естественные постановки задачи разработки ИЭД (таблица 1).

Таблица 1 – Варианты постановки задачи Лагранжа для разработки ИЭД (extr – показатель эффективности, lim – ограничивающий фактор)

Группа свойств оптимальности ИЭД	Номер оптимизационной задачи		
	1	2	3
Необходимая функциональность ИЭД, C	extr	lim	lim
Внутренняя структура ИЭД, L	lim	lim	lim
Расширенная функциональность ИЭД, S_i	–	extr	–
Ресурсоемкость ИЭД, Q	lim	lim	extr

Первая постановка задачи рассматривает первую группу соотношений как показатель эффективности, а вторую и четвертую – как ограничивающие факторы: «Максимизации функциональности ИЭД при воспроизводстве необходимой внутренней структуры и при ограничениях на ресурсоемкость ИЭД». Эта постановка задачи является наиболее общей и пригодной для широкого практического использования из-за того, что, как правило, априорно известны как ограничения на ресурсоемкость ИЭД, так и общие параметры внутренней структуры ИЭД.

В случае, когда можно ввести дополнительные ограничения на функциональность ИЭД, возникает вторая постановка задачи. В ней третья группа рассматривается как показатель эффективности, а первая, вторая и четвертая – как ограничивающие факторы: «Максимизации дополнительной функциональности ИЭД при обеспечении определенного уровня качества технического функционирования ИЭД, воспроизводстве необходимой внутренней структуры и функциональности ИЭД и ограничениях на стоимость ИЭД». Для этого необходимо ввести функцию $C = C(C_1, \dots, C_t)$, характеризующую общую функциональность ИЭД.

Третья постановка задачи, которая относится к более узким и частным случаям, чем первые две, рассматривает четвертую группу как показатель эффективности, а первую и вторую – как ограничивающие факторы: «Минимизация стоимости ИЭД при обеспечении определенного уровня качества технического функционирования ИЭД и воспроизводстве

необходимой внутренней структуры и функциональности ИЭД». Ниже приведена формальная математическая постановка всех трех задач в терминах вариационного исчисления в рамках топологической макромодели СЛА.

Задача 1.

Пусть $E = \{S_1, \dots, S_N\}$ – конечномерное функциональное пространство, A, U, O – конечные или счетные множества. Необходимо для всех $o \in O$, для всех $u \in U$ найти $a_0 \in A$, такое, что:

$$C(E, a_0, o, u) = \max_{a \in A} C(E, a, o, u) = \max_{a \in A} C_i(S_1(a), \dots, S_N(a), o, u).$$

При этом выполняются условия

1. Для всех $o \in O$, для всех $u \in U$ верно:
 $Q(E, a_0, o, u) = Q(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), o, u) \leq Q_{max}$.

2. Для всех $u \in U$ верно:
 $L_i(E, a_0, u) = L_i(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), u) = 0$,
 $i = 1, \dots, k$,
 $L_i(E, a_0, u) = L_i(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), u) \geq 0$,
 $i = k + 1, \dots, m$.

Задача 2.

Пусть $E = \{S_1, \dots, S_N\}$ – конечномерное функциональное пространство, A, U, O – конечные или счетные множества, $\| \cdot \|$ – норма в пространстве R^N . Необходимо найти $a_0 \in A$, такое, что:

$$\|E(a_0)\| = \max_{a \in A} \|E(a)\| = \max_{a \in A} \|S_1(a) \times \dots \times S_N(a)\|.$$

При этом выполняются условия

1. Для всех $o \in O$, для всех $u \in U$ верно:
 $C_i(E, a_0, o, u) = C_i(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), o, u) = 0$,
 $i = 1, \dots, s$,

$C_i(E, a_0, o, u) = C_i(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), o, u) \geq 0$,
 $i = s + 1, \dots, t$.

2. Для всех $o \in O$, для всех $u \in U$ верно:
 $Q(E, a_0, o, u) = Q(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), o, u) \leq Q_{max}$.

3. Для всех $u \in U$ верно:
 $L_i(E, a_0, u) = L_i(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), u) = 0$,
 $i = 1, \dots, k$,
 $L_i(E, a_0, u) = L_i(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), u) \geq 0$,
 $i = k + 1, \dots, m$.

Задача 3.

Пусть $E = \{S_1, \dots, S_N\}$ – конечномерное функциональное пространство, A, U, O – конечные или счетные множества. Необходимо для всех $o \in O$, для всех $u \in U$ найти $a_0 \in A$, такое, что:

$$Q(E, a_0, o, u) = \min_{a \in A} Q(E, a, o, u) = \min_{a \in A} Q(S_1(a), \dots, S_N(a), o, u).$$

При этом выполняются условия

1. Для всех $o \in O$, для всех $u \in U$ верно:
 $C_i(E, a_0, o, u) = C_i(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), o, u) = 0$,
 $i = 1, \dots, s$,

$C_i(E, a_0, o, u) = C_i(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), o, u) \geq 0$,
 $i = s + 1, \dots, t$.

2. Для всех $u \in U$ верно:

$L_i(E, a_0, u) = L_i(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), u) = 0$,
 $i = 1, \dots, k$,

$L_i(E, a_0, u) = L_i(S_1(a_0), \dots, S_N(a_0), u) \geq 0$,
 $i = k + 1, \dots, m$.

Решение задачи оптимизации качества ИЭД методами вариационного исчисления

Математический аппарат вариационного исчисления, разработанный к настоящему времени, позволяет решать большой класс экстремальных задач такого типа с ограничениями типа равенств и неравенств. В частности, в достаточно распространенном случае, когда минимизируемая/максимизируемая функция имеет вид специального интегрального функционала, для нахождения ее экстремума используется уравнение Эйлера-Лагранжа [6]. Все три задачи, сформулированные выше, при выполнении ряда условий входят в класс гладких задач с ограничениями типа равенств и неравенств. Для задач из этого класса имеется хорошо разработанный общий метод их решения.

Первым этапом поиска решения задачи является формулировка ее конкретного вида, а именно, определение, какой конкретный вид имеют множества E, A, O, U и функции $C, L, Q, \| \cdot \|$ (норма в пространстве R^N). Далее полученная задача проверяется на гладкость, а

именно, являются ли непрерывными функции $C, L, Q, \parallel \parallel$. Так как часть функций S_i может быть дискретна, то и функции $C, L, Q, \parallel \parallel$ могут быть дискретными по соответствующим переменным $S_i(a)$. Эту проблему можно обойти следующим образом. При решении оптимизационной задачи дискретные области значений функций $S_i(a)$ можно расширить до непрерывных и рассматривать их как нечеткие множества [7], тем самым, функции $C, L, Q, \parallel \parallel$ становятся непрерывными по всем переменным. Рассматриваемые значения переменных $S_i(a)$, выходящие за рамки изначально заданных дискретных множеств, получают интерпретацию на основе теории нечеткой логики и нечетких множеств.

Далее условия задачи записываются в следующем виде:

$$\begin{aligned} f_0(a) &= \|E(a)\| \rightarrow \max; \\ f_i(a) &= C_i(a) = 0, \quad i=1, \dots, s; \\ f_s+i(a) &= L_i(a) = 0, \quad i=1, \dots, k; \\ f_s+k+i(a) &= C_i(a) \geq 0, \quad i=s+1, \dots, t; \\ f_t+k+i(a) &= L_i(a) \geq 0, \quad i=k+1, \dots, m; \\ f_t+m+1(a) &= Q_{\max} - Q(a) \geq 0. \end{aligned}$$

Переменные $o \in O, u \in U$, которые по-прежнему входят в условия задачи, рассматриваются как параметры, а сама задача на этом этапе решается относительно $a_0 \in A$. Если переопределить коэффициенты $s+k=r, t+m+1=n$, то задачу можно записать короче:

$$\begin{aligned} f_0(a) &\rightarrow \max; f_i(a) = 0, \quad i=1, \dots, r \\ f_i(a) &\geq 0, \quad i=r+1, \dots, n \end{aligned}$$

Для такой постановки задачи справедлива следующая теорема (правило множителей Лагранжа для гладких задач с равенствами и неравенствами). Если \hat{a} является решением задачи, т.е. $f_0(\hat{a})$ принимает максимальное значение для всех, тогда найдутся такие множители $\hat{\eta}_0, \hat{\eta}_1, \dots, \hat{\eta}_n$, для которых выполняются условия:

1. Условие стационарности функции Лагранжа $\ell(a, \eta_0, \eta_1, \dots, \eta_n) = \sum_{i=0}^n \eta_i f_i(a)$ в точке $(\hat{a}, \hat{\eta}_0, \hat{\eta}_1, \dots, \hat{\eta}_n)$:

$$\frac{\partial \ell(\hat{a}, \hat{\eta}_0, \hat{\eta}_1, \dots, \hat{\eta}_n)}{\partial a} = \frac{\partial \sum_{i=0}^n \hat{\eta}_i f_i(\hat{a})}{\partial a} = 0.$$

2. Условие согласования знаков

$$\hat{\eta}_0 \leq 0, \quad \hat{\eta}_{r+1} \leq 0, \quad \dots, \quad \hat{\eta}_n \leq 0.$$

3. Условия дополняющей нежесткости

$$\hat{\eta}_i f_i(\hat{a}) = 0, \quad i=1, \dots, n.$$

Необходимо отметить, что в теореме описываются необходимые, но не достаточные условия для максимизирующего значения. В связи с этим, среди множества получившихся (в результате решения составленной системы уравнений) значений \hat{a} только часть (или даже только одно из них) действительно является максимальной точкой для функции $f_0(a)$. Кроме того, получившиеся значения \hat{a} будут зависеть от $o \in O, u \in U$, которые рассматривались в качестве управляющих параметров задачи. Таким образом, для каждой конкретной пары заданных внешних и внутренних условий o, u все получившиеся значения $\hat{a} = \hat{a}(o, u)$ нужно проверять, например, по очереди подставляя их в функцию f_0 и выбирая максимальное получившееся $f_0(\hat{a})$. В общем случае разным парам o, u могут соответствовать разные максимизирующие элементы $\hat{a} = \hat{a}(o, u)$. Исследование зависимости максимизирующего элемента \hat{a} от внешних и внутренних условий $o \in O, u \in U$, представляет собой обособленную задачу, которую необходимо рассматривать отдельно для каждого конкретного случая.

Заключение

В данной работе предложена методология по выработке системы требований, предъявляемых к свойствам интерактивной электронной документации летательных аппаратов государственной авиации, выполнение которых позволит максимизировать эффективность и функциональность использования

интерактивной электронной документации. В рамках этой методологии были сформулированы три альтернативные математические постановки задачи оптимизации качества интерактивной электронной документации, реализация которых зависит от конкретных условий, предъявляемых к летательному аппарату. Также приведен общий алгоритм решения

широкого класса реальных задач оптимизации качества интерактивной электронной документации летательных аппаратов.

Решение этой задачи будет подробно рассмотрено во второй статье цикла: «Оптимизация качества интерактивной электронной документации летательных аппаратов государственной авиации. Решение задачи».

Список использованных источников

1. Матвеевский С.Ф. Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
2. Ивин А.А. Основания логики оценок. – М.: МГУ, 1970. – 230 с.
3. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. – М.: Наука, 1972. – 496 с.
4. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, 1969. – 424 с.
5. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: Наука, 1979. – 430 с.
6. Тихомиров В.М., Иоффе А.Д. Теория экстремальных задач. – М.: Наука, 1979. – 479 с.
7. Новак В., Перфильева И., Мочкрож И. Математические принципы нечеткой логики. – М.: Физматлит, 2006. – 352 с.