

Методический подход к обоснованию показателей качества элементов автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов

© С.А. Журбин, Г.В. Казаков

ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России,
г. Королев, Московская обл., 141091, Россия

Одним из проблемных вопросов разработки автоматизированных систем подготовки данных полета летательных аппаратов является отсутствие конкретных показателей качества их элементов, что обусловило необходимость разработки нового подхода к заданию значений показателей качества элементов системы. Подход заключается в определении свойств «простых требований» заказчика и требований, предъявляемых к качеству функционирования элементов системы, и связи между ними. Рассмотрено место этой задачи в общей проблеме оценки эффективности применения группировки летательных аппаратов. Наиболее общая проблема, определяющая эффективность применения группировки летательных аппаратов, заключается в обеспечении заданного качества выполнения поставленных перед ней в плане применения группировки задач. Для ее решения введено понятие информационной готовности летательных аппаратов. Показано, что решение задачи оценки качества подготовки данных достижимости и данных полета летательных аппаратов сводится к первостепенной задаче задания обоснованных требований к качеству автоматизированной системы подготовки данных и способах их реализации. Однако, как показала практика, такая задача далека от решения, а следовательно, далека от корректного решения и общая проблема обеспечения эффективности применения группировки летательных аппаратов. Предложен общий подход к обоснованию характеристик качества элементов автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов. В «простых требованиях» выделены вербальные требования, связанные с качеством выходных данных системы. Представлена возможность на основе предложенного подхода разработать систему, показатели качества элементов которой будут соответствовать требуемым значениям.

Ключевые слова: автоматизированная система подготовки данных, данные достижимости, данные полета, информационная готовность, качество, летательный аппарат, план полетов, система управления

Введение. Автоматизация подготовки полетных данных летательных аппаратов (ЛА) — авиационной и космической техники, а в последнее время беспилотных летательных аппаратов (дронов) — давно и прочно вошла в практику разработчиков и пользователей ЛА этого вида. Основными средствами автоматизации являются информационно-управляющие системы (ИУС) летательных аппаратов, от качества которых зависит безопасность полета ЛА.

Требования к авиационно-космической технике, а следовательно, и к ИУС ЛА становятся сложнее, количество соисполнителей разра-

ботчиков неуклонно увеличивается. Современные ЛА содержат десятки систем, у каждой из которых может быть свой разработчик, причем он, в свою очередь, может также иметь десятки соразработчиков. В связи с этим головной исполнитель, являясь интегратором проекта, должен убедиться в достижении заданных заказчиком характеристик и подтвердить возможность интеграции всех систем в рамках разрабатываемого ЛА. При этом актуальными остаются вопросы определения исходных данных и требований для разработки систем на ранних стадиях проектирования, чтобы проблемы не выявились на более поздних стадиях, когда смена разработчика затруднительна или невозможна и необходимо дополнительное время на доработку и проведение новых испытаний.

Качество ИУС ЛА обеспечивается проектированием структуры ИУС, моделированием функционирования ИУС, применения ЛА и др.

Структура информационно-управляющего комплекса (ИВК) ЛА [1] включает взаимосоединенные входами-выходами по каналу информационного обмена информационно-управляющее поле, бортовую цифровую вычислительную систему (БЦВС), состоящую из взаимодействующих по вычислительному каналу информационного обмена блоков ввода-вывода и управления обменом, формирования пилотажно-навигационных параметров и базы данных (БД) полетного задания (ПЗ).

Аналогичную структуру имеет ИУС ЛА [2], которая помимо элементов ИВК ЛА включает блоки формирования и интеграции данных для индикации и приема управляющих воздействий, управления и контроля общесамолетного оборудования, управления электронным противодействием, обеспечения маловысотного полета, обеспечения группового самолетовождения, управления записью на средства объективного контроля, управления режимами.

Другая ИУС [3] расширяет функциональные возможности рассмотренной в [2] ИУС ЛА, повышает отказоустойчивость и, как следствие этого, эффективность работы при применении для многофункциональных ЛА. Это достигается снабжением ИУС сетевым каналом информационного обмена, по которому взаимосоединены входами-выходами все элементы БЦВС и все остальные или, по крайней мере, часть элементов ИУС, и введенными в состав БЦВС блоком-коммутатором, блоками цифровой карты местности, технического обслуживания, контроля и индикации состояния и обеспечения электромагнитной совместимости. Недостатком таких ИУС ЛА является их замкнутость непосредственно на ЛА.

В [4] рассмотрены вопросы применения программно-аппаратных стендов полунатурного моделирования с полной или частичной имитацией объекта управления, бортового радиоэлектронного оборудования, органов управления, обеспечивающих возможность испытаний

объекта и систем управления для оценки влияния различных факторов и возмущающих воздействий, имитирующих условия эксплуатации.

Работа [5] посвящена модульно-ориентированному подходу в проектировании ИУС ЛА, который основан на обмене математическими моделями, отражающими динамику физических процессов моделируемого объекта. Однако в случае применения этого подхода от специалистов требуются высокая квалификация и глубокие знания не только в конкретной дисциплине, но и в смежных областях. Таким образом, одними из направлений деятельности предприятий являются воспитание и удержание квалифицированных кадров, способных решать мультидисциплинарные задачи с учетом широкого спектра требований, предъявляемых к перспективному ЛА.

Одним из проблемных вопросов разработки разновидности ИУС ЛА автоматизированных систем подготовки данных (АСПД) полета ЛА является отсутствие конкретных показателей качества элементов АСПД.

Теоретическая основа принципов разработки АСПД представлена положениями системного подхода, в частности, нового применения инструмента стратификации системы [6]. Показано, что с использованием предложенных принципов удастся избежать или сводить к минимуму проектные ошибки и просчеты и доводить стратификацию представления системы до уровня, позволяющего получать необходимые исходные данные и оценивать показатели качества выходных данных.

В [7] сформулирована задача определения факторов, влияющих на качество разработки и сдачи АСПД в эксплуатацию, по данным, полученным в результате математической обработки суждений экспертов о значимости каждого из факторов. Приведен также методический подход, позволяющий выполнить следующее: определить основные факторы, от которых зависит качество вводимой в эксплуатацию АСПД, и предложить качественные шкалы для оценки меры реализуемости каждого родового критерия; осуществить формализацию многокритериального показателя качества АСПД по степени удовлетворения требованиям родовых критериев и получить его зависимость от уровня разработки и приема в эксплуатацию системы; обосновать требования к функциональной пригодности АСПД, провести ее оценку, а также определить необходимые меры для реализации заданных требований по оперативно-техническим характеристикам АСПД.

Цель статьи — разработать общий методический подход к обоснованию характеристик качества элементов автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов.

Место решаемой задачи в общей проблеме обеспечения эффективности применения группировки летательных аппаратов. Применение группировки летательных аппаратов (ГЛА) осуществляется согласно плану применения ГЛА (ППГЛА), составленному на верхнем звене ее управления и направляемому непосредственно в звено управления группировкой для формирования с помощью специального программного обеспечения (СПО) подготовки в необходимом объеме данных достижимости (ДД), по которым затем СПО подготовки данных полета ЛА (ДПЛА) формирует в том же объеме соответствующие ДПЛА.

Подготовленные данные имеют следующий смысл: ДД рассчитываются из условия достижимости запланированного пункта прибытия в зависимости от имеющихся запасов топлива, а ДПЛА — из условия обеспечения требуемой точности доставки груза в заданный пункт прибытия с учетом всех ограничений как со стороны ЛА (конструктивных и инерционно-массовых ограничений), так и со стороны системы управления (СУ) ЛА (углы прокачки комплекса командных приборов, гарантийных запасов топлива и т. д.). Предметная область в виде общей схемы подготовки данных полета ЛА представлена на рис. 1.

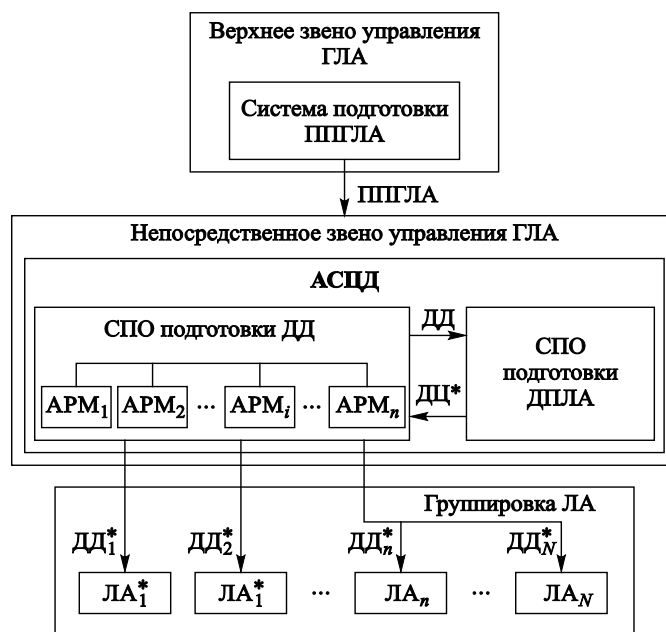


Рис. 1. Общая схема подготовки ДД*

Для автоматизированной системы подготовки данных полета ЛА функционирование системы происходит следующим образом. Согласно ППГЛА, поступившего из верхнего звена управления ГЛА, средствами АСПД проводится контроль семантической правильности

(реализуемости) подготовленных ДД, которые подаются на вход СПО подготовки ДПЛА, где выполняется расчет соответствующих ДПЛА и контроль их реализуемости. Если по поступившим ДД осуществлены расчет ДПЛА и контроль их реализуемости с положительным результатом, то такие ДД приобретают статус реализуемых (на рис. 1 обозначены как ДД*) и подаются на вход ЛА, где СПО расчета и контроля реализуемости ДПЛА рассчитывает и контролирует реализуемость конкретных ДД*.

ППГЛА определяет необходимый объем ДД, которые следует подготовить при получении из верхнего звена директивы на подготовку ДД* для актуального состава ГЛА. Заказчиком АСПД является верхнее звено. Очевидно, что ППГЛА составляется исходя из объектовой обстановки, определяющей необходимость применения ГЛА, в связи с чем заказчик определяет требование к объему подготавливаемых ДД ($N_{ДД}^{ТР}$) и время их подготовки ($T_{ГД}^{ТР}$).

Наиболее общая (глобальная) проблема, определяющая эффективность применения ГЛА, заключается в обеспечении заданного качества выполнения поставленных перед ней в ППГЛА задач. Общая структура глобальной проблемы представлена на рис. 2.

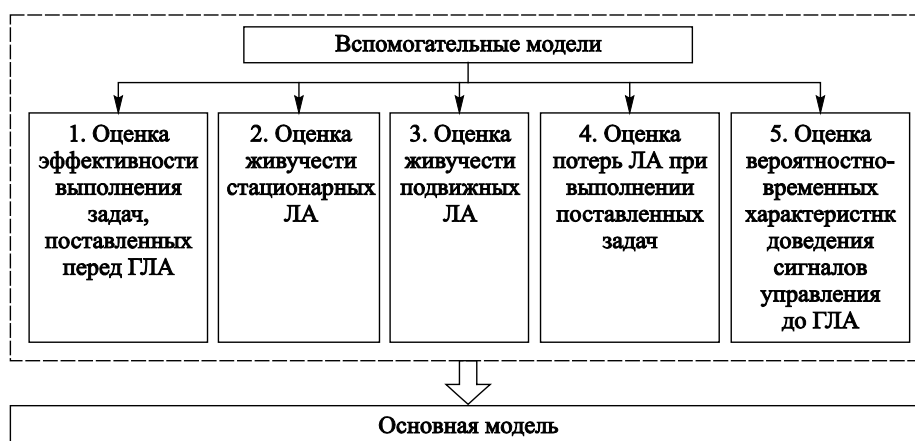


Рис. 2. Блок-схема решения типовой задачи оценки эффективности применения разнотипной группировки летательных аппаратов

Для решения этой проблемы введем понятие информационной готовности ЛА, которое определим следующим образом.

Информационная готовность ЛА — свойство ЛА выполнить поставленные перед ним задачи по доставке груза в заданный пункт прибытия с заданной точностью и в заданный интервал времени путем ввода в его СУ реализуемых ДД* и расчета по ним реализуемых ДПЛА в установленный интервал времени во всех режимах функционирования системы.

Оценка эффективности применения разнотипной ГЛА с учетом воздействий внешней среды проводится при решении так называемой типовой задачи. При этом отмечается, что в процессе обоснования требуемого уровня основных характеристик перспективных образцов ЛА выделено несколько основных задач в виде вспомогательных моделей. Выделение задач в явном виде и возведение их в статус основных позволяют:

- рассмотреть подробно каждую такую задачу с учетом ее предметной области;
- учесть все основные аспекты и особенности этой задачи;
- определить множество возможных путей ее решения и выбрать наилучший;
- решить каждую основную задачу во взаимосвязи с другими основными задачами, как того требует системный подход.

С учетом изложенного, главная проблема, связанная с оценкой эффективности решения поставленных в ППГЛА задач, не может быть разрешена корректным образом, поскольку в ней в явном виде отсутствует такая основная задача, как обеспечение требуемого уровня информационной готовности ЛА.

В связи с изложенным выше, предлагается в состав основных задач включить в явном виде и задачу оценки информационной готовности ГЛА в составе задач, подлежащих решению в рамках единой типовой задачи оценки эффективности применения разнотипной ГЛА в условиях воздействия внешней среды (рис. 3).

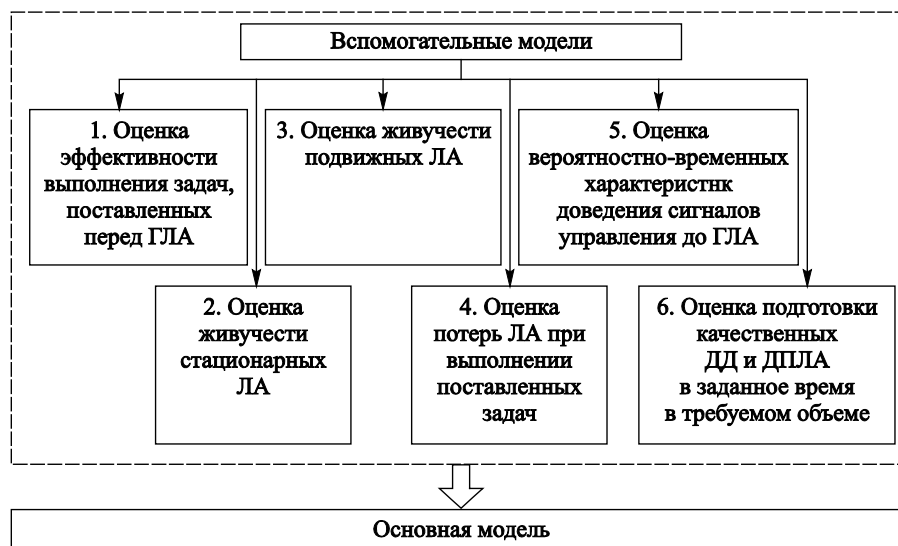


Рис. 3. Модифицированная структура решения типовой задачи оценки эффективности выполнения поставленных задач перед разнотипной ГЛА

В этой структуре с использованием шестой модели проводится «оценка качества подготовки ДД* и ДПЛА в требуемом объеме $N_{\text{ДД}}^{\text{ТР}}$ в установленный срок $T_{\text{ПД}}^{\text{ТР}}$ ».

Решение задачи оценки качества подготовки ДПЛА в требуемом объеме в установленный срок напрямую связано с обоснованным определением требуемых значений показателей качества функционирования элементов АСПД [8, 9].

Получив аналитические выражения для оценки показателей качества этих элементов АСПД, можно обоснованно задать и требуемые значения этих показателей. В настоящее время задание этих требований в ТТЗ на разработку новой (модификацию существующей) АСПД весьма далеко от совершенства и даже не отвечает здравому смыслу.

В качестве примера в табл. 1 приведены требования ТТЗ на разработку двух гипотетических вариантов АСПД.

Таблица 1

Требования ТТЗ на разработку двух вариантов АСПД

Требования ТТЗ	АСПД-1	АСПД-2
1. Время, необходимое для подготовки ДД согласно ППГЛА	Не более X_1-X_2 сут (ΔT_1) сут	Не более Y_1-Y_2 сут (ΔT_2) сут
2. Время, необходимое для подготовки ДД с выдачей документов ввода данных в СУ	Требования отсутствуют	Не более X ч
3. Достоверность данных	То же	0,997
4. Гарантийный срок службы технического средства (ТС), лет	«	15
5. Нарботка на отказ ТС, ч	«	10 000
6. Время восстановления ТС, ч	«	0,5
7. Коэффициент готовности ТС	«	0,9999
8. Требования к СПО	Основная задача — перевод СПО с платформы ЕС ЭВМ на платформу ПЭВМ	Сокращение количества компонентов СПО путем разработки максимально унифицированного СПО для ЛА всех типов

Согласно сведениям, приведенным в табл. 1, в варианте АСПД-1 по многим позициям требования вообще не заданы, а требование 10 000 ч наработки ТС на отказ ничем не обосновано. Действительно, известно, что величины интенсивностей отказов для системы, состоящей из N видов ТС, суммируются. По этой причине задание требуемых значений показателей надежности для системы, состоящей из некоторого множества $\{ТС_j\}$ ($j = 1, 2, \dots, J$), должно исходить из требуемых значений характеристик каждого вида $ТС_j$, входящего в систему. Реальные значения показателей надежности элементов ПЭВМ приведены в табл. 2 [10–13].

Показатели надежности элементов ПЭВМ

Компонент ПЭВМ	Среднее время наработки на отказ, ч	Интенсивность отказов, 1/ч	Вероятность отказа за 1 год
1. Системная плата	10 000	0,000010	0,029
2. Видеокарта	55 000	0,000020	0,052
3. Процессор	55 000	0,000020	0,052
4. RAM модуль № 1	500 000	0,000002	0,006
5. RAM модуль № 2	500 000	0,000002	0,006
6. HDD	500 000	0,000002	0,006
7. Вентилятор № 1	55 000	0,000020	0,520
8. Вентилятор № 2	55 000	0,000020	0,052
9. Оптический привод	70 000	0,000014	0,040
10. Блок питания	100 000	0,000010	0,029
11. Система в целом	75 000	0,000134	0,324

Автоматизированное рабочее место (АРМ) включает наряду с ПЭВМ еще семь элементов, поэтому при интенсивности отказов каждого из элементов $\lambda_{TCi} = 0,000134$ интенсивность отказов АРМ будет $\lambda_{АРМ} = 8 \cdot 0,000134 \approx 0,001$ [14–16]. При этих данных наработка на отказ АРМ рассчитывается так: $T_{АРМ} = \frac{1}{0,001}$, т. е. всего 1000 ч,

а не 10 000 ч, как задано в ТТЗ.

Значение показателя достоверности, равное 0,997, также необоснованно.

Таким образом, решение задачи оценки качества подготовки ДД и ДПЛА сводится к первостепенной задаче задания обоснованных требований к качеству АСПД и способах их реализации, которая, как показала практика, весьма далека от ее решения, а следовательно, далека от корректного решения и общая проблема обеспечения эффективности применения ГЛА.

Общий подход к обоснованию характеристик качества элементов автоматизированной системы подготовки данных на пуски летательных аппаратов. Характеристики качества АСПД задают в ТТЗ на ее разработку, и насколько обоснованно будут заданы эти требования, настолько качественно будет функционировать система. Формально требования ТТЗ на разработку системы задаются согласно правилам, определенным в [17].

Заметим, что об обоснованности выдвигаемых требований ТТЗ речь в этом документе даже не идет. Поэтому требование к надежности в виде 10 000 ч наработки на отказ или к показателю достоверности данных 0,997 согласно этому документу выполнены.

Зачастую задание требований к системе формулируется без проведения предварительных специальных исследований научного плана.

Но, как будет показано, для обоснованного задания требований к системе необходимо проведение определенных научных исследований. И только результаты таких исследований могут служить основой задания адекватных требований к системе и обеспечения требуемого качества ее функционирования.

Для систем критических приложений, к классу которых относится АСПД, обоснованное задание требований играет первостепенную роль.

Формально проект ТТЗ на АСПД разрабатывает организация-разработчик с участием заказчика на основании технических требований (заявки, тактико-технического задания и т. п.).

Корректное задание требований к АСПД осуществляются в двух вариантах. Первый вариант — создается оптимальная система путем отыскания «крайних значений» (не обязательно экстремума) выбранной целевой функции при заданных предположениях и ограничениях. В этом варианте полученные характеристики качества АСПД из условия, например, «максимума» целевой функции являются обоснованными значениями показателей основных свойств, определяющих качество системы по критерию, определенному целевой функцией. Второй вариант — требования к АСПД определяются исходя из ее назначения. Именно этот вариант используется при проектировании (модификации) АСПД как системы контроля правильности подготовленных ДД (ДПЛА).

Для систем контроля основным критерием является достоверность контроля, которая зависит от вероятностей ошибок первого и второго родов при принятии решения о правильности подготовленных ДД (ДПЛА) [18].

Поскольку АСПД относится к классу систем критических приложений (потенциально опасных систем), заказчик не требует определения каких-либо целевых функций, а выдвигает требования абсолютной синтаксической и семантической правильности подготовленных ДД (ДПЛА). Все остальные доводы его не интересуют.

В конечном счете, качество процесса функционирования АСПД в целом определяет качество функционирования трех ее составных элементов: оперативного персонала — (далее — персонал), специального программного обеспечения формирования и контроля реализуемости ДД (СПО ФДД-КРДД), ТС в виде АРМ.

Возможность неправильного задания требований обусловила необходимость разработки нового подхода к заданию значений показателей качества указанных трех элементов. Этот подход заключается в использовании простой схемы. Введем понятие «простые требования», которые задает заказчик — это один объект.

Эксплуатационное качество системы в целом зависит от свойств, определяющих качество функционирования указанных выше основных

элементов системы. Требования, предъявляемые к качеству функционирования трех элементов системы, — это второй объект.

Определить свойства, к которым относятся требования указанных двух объектов и связи между ними, является первичной задачей формирования требований ТТЗ на разработку АСПД.

На вербальном уровне задача формулируется достаточно просто: определить такие требования к качеству функционирования элементов АСПД, которые удовлетворяли бы «простым требованиям» заказчика, предъявляемым к качеству системы в целом. «Простые требования» вытекают из обычного желания заказчика иметь качественную систему, способную обеспечить достижение цели ее использования: подготовить качественные ДД* в требуемом объеме $N_{\text{ДД}}^{\text{тр}}$ в установленное время $T_{\text{ПД}}^{\text{тр}}$ в любой прогнозируемой ситуации (режиме функционирования системы).

Заказчику известны числовые значения $(N_{\text{ДД}}^{\text{тр}})_j$ и $(T_{\text{ПД}}^{\text{тр}})_j$ для каждого режима функционирования, которые он и задает. На этом определенность заканчивается. Далее заказчик требует, чтобы подготовленные ДД (ДПЛА) были качественными. При этом он опирается на три известных свойства данных — достоверность, реализуемость и своевременность. Иными словами, заказчик далее предъявляет «простые требования» в виде вербальных требований: данные должны быть достоверными, реализуемыми и подготовленными к конкретному моменту времени.

Требуемые значения показателей первых двух свойств заказчик задать не может, да и никто не может задать без проведения исследований по обоснованию этих значений. Такие исследования заключаются в формировании определений указанных свойств и разработке методик оценки их показателей, которые затем позволят обосновать выбор требуемых значений показателей достоверности и реализуемости ДД (ДПЛА). Требование отсутствия синтаксических ошибок в подготовленных ДД обеспечивается специальными средствами синтаксического контроля правильности данных, куда входят программно-аппаратные средства и персонал, осуществляющий визуальный контроль данных. Требование отсутствия семантических ошибок в подготовленных ДД обеспечивается СПО ФДД-КРДД. Требуемое значение показателя гибкости процесса подготовки ДД также обеспечивается всеми тремя элементами системы, и его значение также подлежит определению.

Следующий вопрос, который необходимо решить, заключается в определении предъявляемых требований к свойствам элементов АСПД и установлении величин показателей этих свойств.

Формализация общего подхода к обоснованию характеристик качества элементов автоматизированной системы подготовки данных на пуски летательных аппаратов. Процесс формализации начнем с формулирования необходимых определений.

Общие требования к качеству системы задаются исходя из ее назначения, поэтому первым является определение самой системы.

АСПД как организационно-техническая территориально-распределенная сетевая система включает персонал и комплекс средств автоматизации его деятельности, реализующий информационную технологию выполнения установленных функций по формированию, контролю синтаксической и семантической правильности сформированных данных требуемого объема в установленный срок и ввода их в базу данных звеньев управления ГЛА и в СУ ЛА, которые обеспечивают выполнение поставленных перед ГЛА задач в соответствии с актуальным номером ППГЛА в любых режимах функционирования системы.

Определим свойства ДД (ДПЛА) следующим образом. Данные достижимости и ДПЛА являются *достоверными*, если они соответствуют истинным формально-структурным характеристикам данных (значению и месту размещения элементов в массиве данных).

Требуемое значение показателя достоверности ДД (ДПЛА) представляет собой вероятность принятия процедурой синтаксического контроля правильного решения о наличии или отсутствии синтаксических ошибок в контролируемом массиве данных (D_D^{TP}). Достоверность данных обеспечивается не только программными средствами синтаксического контроля, но и персоналом. Качество персонала определяется его производительностью, которая напрямую зависит от таких свойств персонала, как квалификация и укомплектованность. Эти свойства интуитивно понятны, и определять их не имеет смысла.

Следующее свойство данных БПР — их реализуемость, которую определим следующим образом. ДД и ДПЛА являются *реализуемыми*, если их применение в СУ ЛА не приведет к невыполнению задачи, поставленной в актуальном номере ППГЛА.

Требуемое значение показателя реализуемости ДД (ДПЛА) представляет собой вероятность принятия процедурой семантического контроля правильного решения о наличии или отсутствии семантической ошибки в ДД, которая не позволяет рассчитать по подготовленным ДД данные полета ЛА (R_D^{TP}). Реализуемость ДД определяется надежностью СПО ФДД-КРДД. Показателями качества этого СПО, необходимыми для выполнения требований подготовки необходимого числа ДД (ДПЛА) в отведенное время, являются надежность и производительность.

Следует иметь в виду, что ДД становятся качественными только после того, как по ним будут рассчитаны ДПЛА. В этом случае ДД являются реализуемыми и достоверными и обозначаются как ДД*.

Данные достижимости ДД* являются *своевременными*, если они подготовлены в установленном объеме к заданному моменту времени. Требуемое значение показателя своевременности ДД (ДПЛА) определяется интервалом времени, в течение которого должен быть подготовлен заданный объем качественных данных полета ($T_{\text{ПД}}^{\text{зад}}$).

Гибкость процесса подготовки ДД* — свойство системы подготавливать в требуемом объеме ДД* за отведенное время в каждом из режимов функционирования системы с учетом выхода из строя объектов АСПД.

Итак, определены важные свойства, от которых зависит эффективность применения ГЛА, но задать корректно требуемые значения показателей для этих свойств невозможно, поскольку неизвестна связь параметров с показателями свойств, определяющих заданное заказчиком качество АСПД в целом.

Способы определения требуемых значений показателей реализуемости, оперативности и достоверности данных достижимости. Реализуемость ДД обеспечивается СПО ФДД-КРДД, поэтому от правильности его алгоритмов и кодов (отсутствия в них ошибок) зависит правильность принятого решения о реализуемости контролируемых ДД. Следовательно, необходимо предъявить требование к показателю надежности СПО ФДД-КРДД.

Обоснование требуемого числового значения показателя надежности СПО ФДД-КРДД, приведенное в [19], заключается в определении вероятности наличия одного варианта нереализуемых ДД в объеме $N_{\text{ДД}}^{\text{тр}}$ из-за наличия ошибки в СПО ФДД-КРДД.

Однако такое положение дел не устраивает заказчика, и он требует, чтобы все ДД были реализуемы. В этом случае требуемое значение показателя надежности СПО ФДД-КРДД определяется выражением вида

$$R_{\text{н}}^{(\varepsilon)} = 1 - \frac{1 - \varepsilon}{N_{\text{ДД}}},$$

где $\varepsilon > 0$ — некоторое положительное число.

Ясно, что в этом случае вероятность $R_{\text{н}}^{(\varepsilon)}$ уже означает, что в выборке из $N_{\text{ДД}}$ будет не один, а меньше на величину $(1 - \varepsilon)$, чем один нереализуемый вариант ДД.

Очевидно, если $\varepsilon = 1$, то это отвечает достоверному событию, что в выборке из $N_{\text{ДД}}$ действительно не будет ни одной ошибки. Это

можно утверждать только в том случае, если $N_{\text{ДД}}$ совпадет с самой генеральной совокупностью, т. е. речь уже будет идти не о выборке, а о сплошном контроле всех возможных вариантов ДД средствами СПО ФДД-КРДД.

Определить требуемое значение показателя надежности СПО математическими методами невозможно, поэтому остается исходить только из здравого смысла.

Если величину ε интерпретировать как доверительную вероятность, которую, как правило, выбирают равной 0,95 или 0,99, то это весьма высокая степень доверия к тому, что в выборке из $N_{\text{ДД}}$ не будет ни одного нереализуемого варианта ДД [20]. Способ определения требуемого значения показателя оперативности подготовки данных достижимости приведен в [19], а требуемого значения показателя достоверности данных достижимости — в [21].

Качество функционирования персонала в процессе подготовки ДД определяется двумя его свойствами: производительностью и надежностью (безошибочностью) выполнения требуемого объема работ. Эти два показателя обеспечиваются, во-первых, обоснованной штатной структурой, во-вторых, требуемым уровнем квалификации и, в-третьих, соблюдением требований эргономики и инженерной психологии.

В процессе подготовки ДД персонал обязан выполнять работы следующих двух принципиально разных видов: работу на аппаратуре (АРМ) и работу, связанную с проведением визуального контроля на каждом этапе подготовки ДД. Если обозначить время работы на аппаратуре через T_A , а время, затрачиваемое на визуальный контроль, через $T_{\text{ВК}}$, то имеет место неравенство ($T_{\text{ВК}} \gg T_A$), из которого следует, что минимизации времени $T_{\text{ВК}}$ (а значит, и $T_{\text{ПД}}^{\text{ТР}}$) необходимо уделить особое внимание. Минимизация этого времени достигается только на пути создания групп визуального контроля, осуществляющих параллельный многократный визуальный контроль данных. Таким образом, штатная структура оперативного персонала должна устанавливаться, исходя из необходимой кратности визуального контроля.

Если процесс визуального контроля будет организован так, чтобы контроль осуществлялся параллельно m группами, то и время контроля будет уменьшено в m раз. Задача заключается в том, чтобы обеспечить требуемую кратность визуального контроля. На основе этих данных определяется необходимый штатный состав оперативного персонала, осуществляющего подготовку ДД, а руководители подразделений набирают специалистов требуемой квалификации или получают таких специалистов через некоторое время после проведения для них специальных занятий.

Заключение. Предложен новый подход к обоснованию показателей качества элементов автоматизированной системы подготовки данных на пуски летательных аппаратов. Он заключается в решении первоочередной задачи обоснования так называемых «простых требований», предъявляемых заказчиком. В этих требованиях выделены вербальные требования, связанные с качеством выходных данных системы. На основе предложенного подхода можно разработать систему, показатели качества элементов которой будут соответствовать требуемым значениям.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бабиченко А.В., Герасимов Г.И., Джанджгава Г.И. и др. *Информационно-управляющий комплекс многофункциональных летательных аппаратов*. Пат. № 2232376 Российская Федерация, 2004, 10 с.
- [2] Баранов А.С., Бекетов В.И., Бобров С.В. и др. *Информационно-управляющая система летательного аппарата*. Пат. № 2392586 Российская Федерация, 2010, 11 с.
- [3] Погосян М.А., Давиденко А.Н., Стрелец М.Ю. и др. *Информационно-управляющая система многофункционального летательного аппарата*. Пат. № 2476920 Российская Федерация, 2013, 13 с.
- [4] Белоконь С.А. *Разработка математических моделей, методов и средств исследования аэродинамики, динамики полета и систем автоматического управления свободнолетающих динамически подобных моделей*. Дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2018, 110 с.
- [5] Лантратов К. Ориентация на модель. *Горизонты*, 2020, № 2, с. 22–29.
- [6] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Принципы проектирования и разработки автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 3. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-3-1863>
- [7] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В., Котяшев Н.Н. Метод оценки показателя качества разработки автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов и приема ее в эксплуатацию. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2020, вып. 5. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-5-1984>
- [8] Андреев А.Г., Казаков Г.В. Задача повышения качества автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов на этапах ее приема и эксплуатации. *XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства. Сборник тезисов*: в 4 томах. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021, т. 4, с. 468–469.
- [9] Андреев А.Г., Журбин С.А., Казаков Г.В., Корянов В.В. Оптимизация процесса проектирования автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2021, вып. 8. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2021-8-2105>
- [10] Прытков С.Ф., Горбачева В.М., Маргынова М.Н., Петров Г.А. *Надежность электрорадиоизделий. Справочник*. Москва, 22 ЦНИИ МО РФ, 2004, 620 с.
- [11] *Надежность электрорадиоизделий. Справочник*. Москва, МО РФ, 2006, 641 с.

- [12] Лушпа И.Л., Кулыгин В.Н. База данных надежности электрорадиоизделий. *Новые информационные технологии в автоматизированных системах*, 2018, № 21, с. 249–251.
- [13] Алексеев С., Григорьева А., Первозникова М. Обзор рынка технологических и конструкционных материалов в радиоэлектронной промышленности. *Электроника*, 2017, № 7, с. 136–140.
- [14] Аббасов Э.М., Семенов А.Б. Расчет надежности электрорадиоизделий устройств сбора данных телеметрических систем. *Информационно-технологический вестник*, 2020, № 2, с. 3–9.
- [15] Артюхова М., Жаднов В., Полесский С. Оценка показателей надежности электронных средств с учетом многофакторного коэффициента качества производства. *Надежность*, 2014, № 4, с. 204–207.
- [16] Бирюков В.И., Пронин О.Ю., Радченко А.В. Алгоритм прогнозирования надежности изделий авиационной и ракетно-космической техники на стадии проектирования. *Вестник МАИ*, 2013, т. 20, № 2, с. 72–79.
- [17] ГОСТ 34.602—2020. *Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы*. Москва, Российский институт стандартизации, 2021, 12 с.
- [18] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Метод оценки показателя надежности программного обеспечения автоматизированной системы подготовки данных управления летательными аппаратами. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2018, вып. 6.
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2018-6-1771>
- [19] Андреев А.Г., Казаков Г.В. Оценка оперативности подготовки данных управления летательными аппаратами методом технологических участков. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 5.
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-5-1880>
- [20] Вентцель Е.С. *Теория вероятностей*. Москва, ЮСТИЦИЯ, 2018, 658 с.
- [21] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Метод оценки показателя достоверности выходных данных, подготавливаемых средствами автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 4.
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-4-1868>

Статья поступила в редакцию 15.07.2022

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Журбин С.А., Казаков Г.В. Методический подход к обоснованию показателей качества элементов автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2022, вып. 8.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-8-2206>

Журбин Сергей Александрович — старший научный сотрудник ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России; автор более 10 публикаций. e-mail: serdgo4@yandex.ru

Казаков Геннадий Викторович — канд. техн. наук, доцент, начальник управления ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России, почетный работник науки и техники Российской Федерации; автор более 100 публикаций. e-mail: kgv.64@mail.ru

A methodical approach to substantiating the quality indicators of the elements of an automated aircraft flight data preparation system

© S.A. Zhurbin, G.V. Kazakov

FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”, Korolyov, Moscow Region, 141091, Russia

The paper introduces a new approach to substantiating the quality indicators of the elements of an automated aircraft flight data preparation system. The approach consists in solving the primary task of substantiating the so-called “simple requirements” imposed by the customer. The study examines the place this task takes in estimating the efficiency of the use of an aircraft grouping. The most general problem that determines this efficiency is to ensure that the grouping fulfills its tasks in a given quality. To solve the problem, we introduced the concept of aircraft information readiness. The study shows that the solution of the problem of estimating the quality of reachability and aircraft flight data preparation is reduced to the primary task of setting reasonable requirements for the quality of an automated data preparation system and methods to meet these requirements. However, the problem is hard to solve, as well as the general problem of ensuring the efficiency of the use of an aircraft grouping. The study proposes a general approach to substantiating the quality characteristics of the elements of an automated aircraft flight data preparation system. Among simple requirements, we singled out the verbal requirements related to the quality of the system's output data. Relying on this approach, it is possible to develop a system whose quality indicators of the elements will correspond to the required values.

Keywords: *automated data preparation system, reachability data, flight data, information readiness, quality, aircraft, flight plan, control system*

REFERENCES

- [1] Babichenko A.V., Gerasimov G.I., Dzhandzhgava G.I., et al. *Informatsionno-upravlyayuschiy kompleks mnogofunktionalnykh letatnykh apparatov* [Information and control complex of multifunctional aircraft]. Patent RF, no. 2232376, 2004, 10 p.
- [2] Baranov A.S., Beketov V.I., Bobrov S.V., et al. *Informatsionno-upravlyayuschaya sistema letatel'nogo apparata* [Information and control system of the aircraft]. Patent RF, no. 2392586, 2010, 11 p.
- [3] Pogosyan M.A., Davidenko A.N., Strelets M.Yu., et al. *Informatsionno-upravlyayuschaya sistema mnogofunktional'nogo letatel'nogo apparata* [Information and control system of a multifunctional aircraft]. Patent RF, no. 2476920, 2013, 13 p.
- [4] Belokon S.A. *Razrabotka matematicheskikh modeley, metodov i sredstv issledovaniya aerodinamiki, dinamiki poleta i sistem avtomaticheskogo upravleniya svobodnoletayuschikh dinamicheski podobnykh modeley*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of mathematical models, methods and tools for studying aerodynamics, flight dynamics and automatic control systems for free-flying dynamically similar models. Cand. eng. sc. diss.]. Novosibirsk, 2018, 110 p.
- [5] Lantratov K. *Gorizonty (Horizons)*, 2020, no. 2, pp. 22–29.

- [6] Andreev A.G., Kazakov G.V., Koryanov V.V. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2019, iss. 3. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-3-1863>
- [7] Andreev A.G., Kazakov G.V., Koryanov V.V., Kotyashev N.N. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2020, iss. 5. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-5-1984>
- [8] Andreev A.G., Kazakov G.V. Zadacha povysheniya kachestva avtomatizirovannoy sistemy podgotovki dannykh poleta letatelnykh apparatov na etapakh ee priema i ekspluatatsii [The task of improving the quality of an automated system for preparing aircraft flight data at the stages of its acceptance and operation]. *XLV Akademicheskie chteniya po kosmonavtike, posvyaschennye pamyati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydayuschikhsya otechestvennykh uchenykh — pionerov osvoeniya kosmicheskogo prostranstva. Sbornik tezisov: v 4 tomakh* [XLV Academic readings on cosmonautics dedicated to the memory of Academician S.P. Korolev and other outstanding domestic scientists — pioneers of space exploration. Collection of abstracts: in 4 vols.]. Moscow, BMSTU Press, 2021, vol. 4, pp. 468–469.
- [9] Andreev A.G., Zhurbin S.A., Kazakov N.V., Koryanov V.V. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2021, iss. 8. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2021-8-2105>
- [10] Prytkov S.F., Gorbacheva V.M., Martynova M.N., Petrov G.A. *Nadezhnost elektroradioizdeliy* [Reliability of electrical devices]. Moscow, 22 TsNIII MO RF Publ., 2004, 620 p.
- [11] *Nadezhnost elektroradioizdeliy* [Reliability of electrical radio products]. Moscow, MO RF, 2006, 641 p.
- [12] Lushpa I.L., Kulygin V.N. *Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh (New information technologies in automated systems)*, 2018, no. 21, pp. 249–251.
- [13] Alekseev S., Grigoryeva A., Perevoznikova M. *Elektronika: nauka, tekhnologiya, bizness — Electronics: Science, Technology, Business*, 2017, no. 7, pp. 136–140.
- [14] Abbasov E.M., Semenov A.B. *Informatsionno-tekhnologicheskii vestnik — Information Technology Bulletin*, 2020, no. 2, pp. 3–9.
- [15] Artyukhova M., Zhadnov V., Polesskiy S. *Nadezhnost — Dependability*, 2014, no. 4, pp. 204–207.
- [16] Biryukov V.I., Pronin O.Yu., Radchenko A.V. *Vestnik MAI — Aerospace MAI Journal*, 2013, vol. 20, no. 2, pp. 72–79.
- [17] *GOST 34.602—2020. Kompleks standartov na avtomatizirovannyye sistemy. Tekhnicheskoe zadanie na sozдание avtomatizirovannoy sistemy* [State Standard 34.602—2020. Set of standards for automated systems. Terms of reference for the creation of an automated system]. Moscow, Russian Standardization Institute Publ., 2021, 12 p.
- [18] Andreev A.G., Kazakov G.V., Koryanov V.V. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2018, iss. 6. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2018-6-1771>
- [19] Andreev A.G., Kazakov G.V. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2019, iss. 5. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-5-1880>
- [20] Venttsel E.S. *Teoriya veroyatnostey* [Probabilities theory]. Moscow, YuSTITsIYa Publ., 2018, 658 p.
- [21] Andreev A.G., Kazakov G.V., Koryanov V.V. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2019, iss. 4. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-4-1868>

Zhurbin S.A., Senior Research Fellow, FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”; author of more than 10 research papers. e-mail: serdgo4@yandex.ru

Kazakov G.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Head of Department, FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”, Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation; author of more than 100 research papers. e-mail: kgv.64@mail.ru