

Оптимизация процесса проектирования автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов

© А.Г. Андреев¹, С.А. Журбин¹, Г.В. Казаков¹, В.В. Корянов²

¹ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России,
г. Королев Московской обл., 141091, Россия
²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

В рассмотренном методологическом подходе к оптимизации процесса проектирования автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов применены организационно-технические меры, направленные на минимизацию числа проектных ошибок и просчетов случайного и преднамеренного характера. Структуру процесса проектирования системы предложено строить по принципу «от общего к частному», исходя из которого связи между различными этапами проектирования определяются в виде сюръективных и биективных соответствий. В схеме этапов проектирования автоматизированной системы подготовки данных каждый нижний уровень иерархии представляет собой декомпозицию элементов смежного верхнего уровня на более частные элементы. Предложены основные методы повышения качества проектирования системы, методы семантического контроля правильности принимаемых проектных решений и синтаксического контроля правильности разработанной документации на проектирование автоматизированной системы подготовки данных. Рассмотрены основные тринадцать задач проектирования системы, которые при практическом применении приобретут более конкретный вид и позволят существенно повысить качество проектируемой системы.

Ключевые слова: автоматизированная система подготовки данных, данные достижимости, данные полета, летательный аппарат, логический технологический участок, семантическая правильность, синтаксическая правильность, синтаксический технологический участок

Введение. Практика эксплуатации автоматизированных систем подготовки данных (АСПД) полета летательных аппаратов (ЛА) показала, что наиболее опасными являются ошибки и просчеты, допущенные при проектировании АСПД. В связи с этим ставится задача оптимизации процесса проектирования системы по какому-либо критерию оптимизации.

Вопрос о выборе критерия оптимальности нельзя решать с позиций математики [1], надо его решать с позиций «здравого смысла». Поскольку практически важно лишь то, что система должна быть близка к оптимальной, вопрос о выборе критерия «...почти всегда имеет бесчисленное множество решений» [1]; отсюда возникает понятие квазиоптимальной системы. Согласно приведенному в работе [1] утверждению, любая научно обоснованная система является практически оптимальной.

Наличие ошибок в проекте любой автоматизированной системы и их число напрямую зависят от уровня руководства проектом [2–6]. При высоком уровне руководства процесс разработки АСПД структурируется, а следовательно, устанавливаются контрольные сроки, выбирается методология и по завершении каждого этапа проектирования проверяется «доброкачественность» его результатов [7]. В работе [7] отмечается, что при плохом руководстве некоторые или все этапы (подпроцессы) проектирования не выделяются явно и каждый из них существует в неявном виде, из-за чего исключается возможность установить контрольные сроки, выработать определенную методологию и получить промежуточные оценки качества проекта.

Под оптимизацией процесса проектирования АСПД понимается такое руководство процессом проектирования системы, при котором число проектных ошибок и просчетов N_e сведено к минимуму вследствие структуризации процесса проектирования, выбора методологии проектирования на каждом этапе и средств контроля синтаксической и семантической правильности полученных результатов:

$$N_e = \min.$$

Цель настоящей статьи — разработать методологический подход к оптимизации процесса проектирования АСПД полета летательных аппаратов за счет применения организационно-технических мер, направленных на минимизацию числа проектных ошибок и просчетов случайного и преднамеренного характера.

Структуризация процесса проектирования АСПД. Используем основные идеи, изложенные в работе [7], для проведения структуризации процесса проектирования АСПД. Структура процесса проектирования АСПД построена в виде его этапов по принципу «от общего к частному» (рис. 1). Исходя из этого принципа, связи между различными этапами проектирования определены на рис. 1 в виде сюръективных и биективных соответствий ($\phi, \psi, \rho, \dots, \gamma$), поскольку каждому образу должны соответствовать либо один (биекция), либо несколько (сюръекция) прообразов. Инъективного соответствия не должно быть, так как в этом случае могут существовать образы, для которых не будет прообразов, что означает либо избыточность элементов смежного верхнего уровня иерархии, либо недостаток образов в смежном нижнем уровне иерархии (в обоих случаях построение иерархии будет некорректным).

В схеме этапов проектирования АСПД каждый нижний уровень иерархии должен представлять собой декомпозицию элементов смежного верхнего уровня на более частные элементы, число которых должно быть равно или больше, чем число элементов на смежном верхнем уровне иерархии (как показано на рис. 1 для второго и третьего уровней иерархии).

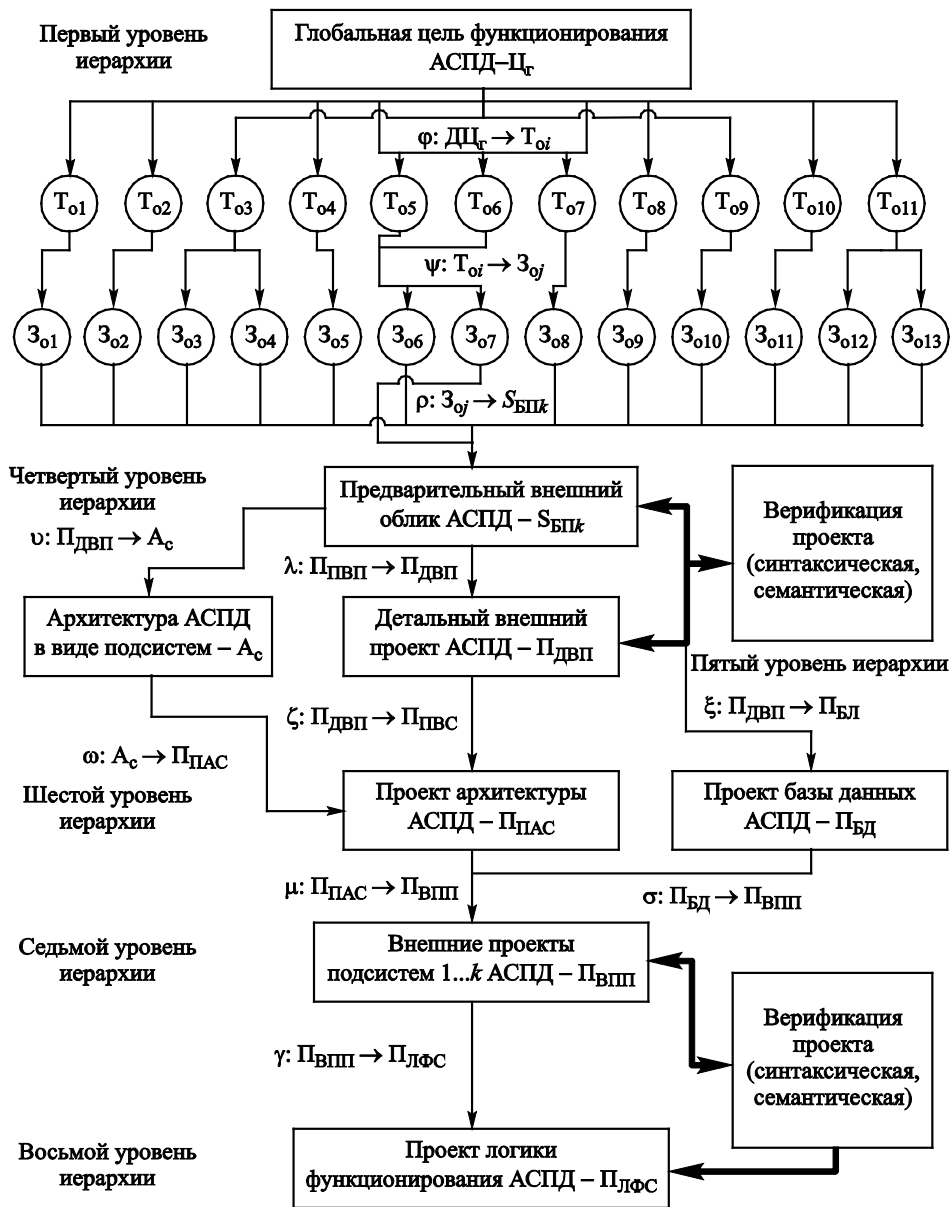


Рис. 1. Этапы проектирования автоматизированной системы подготовки данных:
 T_{oi} — общие требования к АСПД; Z_{oj} — основные задачи проектирования АСПД; $S_{впк}$ — внешние спецификации; ВП — верификация проекта

Известно, что начальным этапом проектирования АСПД является полная правильная формулировка глобальной цели Ц_г функционирования системы. Такая цель функционирования АСПД определяется заказчиком и формулируется следующим образом в виде определения назначения системы:

АСПД предназначена для подготовки специальных данных (данных достижимости, ДД) для системы управления (СУ) ЛА в требуемом объеме $N_{ДД}^{ТР}$, обеспечивающих доставку полезной нагрузки (груза) летательным аппаратом в конечный пункт прибытия за отведенное время $T_{зд}$ с необходимым качеством этих данных, определяемых их достоверностью и реализуемостью с требуемыми значениями показателей $D_{ДД}^{ТР}$ и $R_{ДД}^{ТР}$ соответственно (ДД — данные достижимости).

Из формулировки глобальной цели функционирования АСПД можно составить сюръективное соответствие, в котором каждый прообраз T_{oi} общих требований имеет один и тот же образ Π_r :

$$\varphi : \Pi_r \rightarrow T_{oi}.$$

При определении предъявляемых к АСПД как к информационной системе общих требований T_{oi} необходимо уделить особое внимание таким вопросам, как описание всех видов циркулирующих в системе данных, форматы их представления, средства преобразования из одного формата в другой, взаимосвязи средств, которые обрабатывают эти данные, особенности этих данных, показатели качества выходных данных, взаимосвязи входных и выходных данных средств их преобразования.

Требования T_{oi} , предъявляемые к АСПД, могут быть определены в виде, приведенном в табл. 1.

Таблица 1

Требования T_{oi} , предъявляемые к АСПД

Требование	Определение требования
T_{o1}	Определить полный состав данных, используемых в СУ ЛА
T_{o2}	Определить понятия качества данных для ЛА в широком и узком смыслах
T_{o3}	Определить границы системы в соответствии с системным подходом
T_{o4}	Определить особенности данных для ЛА
T_{o5}	Определить подсистемы АСПД по признаку обрабатываемых данных и их взаимосвязи
T_{o6}	Определить число и типы программно-аппаратных средств (ПАС), используемых в АСПД с требуемыми показателями качества
T_{o7}	Определить состав данных, используемых в автоматизированной системе управления (АСУ) группировкой ЛА
T_{o8}	Определить взаимосвязи входных и выходных данных, обрабатываемых средствами аэробаллистической фильтрации и контроля их реализуемости
T_{o9}	Определить полные и правильные внешние спецификации $S_{впк}$
T_{o10}	Определить (разработать) методы и средства контроля качества проектирования АСПД
T_{o11}	Определить (разработать) методы и средства контроля качества данных для ЛА в широком и узком смыслах

Задачи общего плана ставятся с использованием сформированных требований к процессу проектирования. Поскольку каждой задаче требуется свое специфическое решение, этих задач, как правило, больше, чем требований, поэтому строится сюръективное соответствие ψ множества общих требований на множество основных задач проектирования:

$$\psi : T_{oi} \rightarrow Z_{oj}.$$

Задачи Z_{oj} могут быть определены в виде, приведенном в табл. 2.

Таблица 2

Основные задачи Z_{oj} проектирования АСПД

Задачи	Определение задачи
Z_{o1}	Определить полный состав данных, используемых в СУ ЛА, на основе анализа алгоритмов функционирования СУ
Z_{o2}	Определить качество данных для ЛА в широком смысле на основе анализа физического смысла данных
Z_{o3}	Определить понятия свойств, определяющих качество данных в узком смысле, исходя из назначения АСПД
Z_{o4}	Определить особенности данных для ЛА
Z_{o5}	Определить границы АСПД на основе анализа процесса подготовки данных полета ЛА и особенностей данных достижимости
Z_{o6}	Определить подсистемы АСПД по признаку вида обрабатываемых данных и их взаимосвязи
Z_{o7}	Определить состав данных, поступающих в АСУ группировкой ЛА от АСПД, на основе анализа логики функционирования АСУ группировкой ЛА
Z_{o8}	Определить взаимосвязи входных и выходных данных, обрабатываемых средствами аэробаллистической фильтрации и контроля их реализуемости
Z_{o9}	Определить число и типы ПАС, используемых в АСПД с требуемыми показателями качества
Z_{o10}	Определить полные правильные внешние спецификации
Z_{o11}	Определить (разработать) методы и средства контроля качества проектирования АСПД
Z_{o12}	Определить (разработать) методы и средства контроля качества данных для ЛА в широком смысле
Z_{o13}	Определить (разработать) методы и средства контроля качества данных для ЛА в узком смысле

Следующим этапом процесса проектирования АСПД является формирование внешних спецификаций в соответствии с множеством задач:

$$\rho : Z_{oj} \rightarrow S_{ВПК}.$$

С этой целью необходимо рассмотреть методы решения задач Z_{oj} .

Методы решения основных задач проектирования АСПД Z_{oj} .
Остановимся на решении основополагающих задач.

Для решения первой задачи требуется определить два основных вида данных, используемых в АСПД и системе управления (СУ) ЛА. К первому виду относятся данные достижимости (ДД), определяющие возможность ЛА достичь конечного пункта прибытия с учетом имеющихся запасов топлива для заданного типа ЛА. Этот пункт прибытия определен в плане полетов группировки ЛА (ППГЛА).

Ко второму виду относятся данные, определяющие как необходимость доставки груза ЛА в запланированный пункт прибытия с заданной точностью, так и то, чтобы траектория полета ЛА не вызывала аварийных ситуаций по прочности, по расходу топлива и многим другим (порядка сотни) параметрам. Данные, которые учитывают все отмеченные ограничения, использует СУ ЛА при формировании управляющих сигналов; они называются данными полета ЛА (ДПЛА).

Решению первой задачи соответствует укрупненная схема подготовки ДД и ДПЛА (рис. 2).

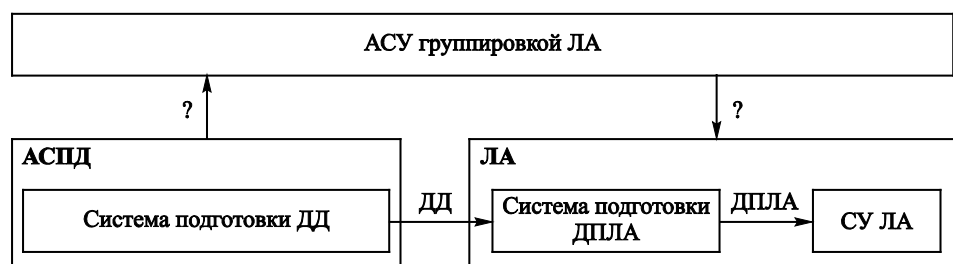


Рис. 2. Схема подготовки данных достижимости и данных полета ЛА

Решение второй задачи приводит к определению качества ДД и ДПЛА в широком смысле. Данные достижимости и данные полета ЛА являются качественными в широком смысле, если они в полной мере используют технические возможности ЛА этого типа.

Решение третьей задачи приводит к формированию ряда свойств, определяющих качество ДД и ДПЛА в узком смысле: своевременности, достоверности и реализуемости. Данные достижимости и данные полета ЛА являются своевременными, если они подготовлены к заданному моменту времени в полном объеме. ДД и ДПЛА являются достоверными, если их формально-структурные характеристики (место и значения в массиве данных) являются истинными. ДД и ДПЛА являются реализуемыми, если их использование в СУ ЛА не приведет к срыву выполнения задачи, поставленной в плане полетов группировки ЛА.

Решение четвертой задачи сводится к раскрытию особенности ДД, заключающейся в том, что по этим данным рассчитываются ДПЛА, которые используются в СУ ЛА. В связи с этим ДД являются реализуемыми, если выполняются два следующих условия:

– с использованием ДД состоялся расчет ДПЛА средствами бортового вычислительного комплекса ЛА (БВК);

– рассчитанные ДПЛА прошли проверку на их реализуемость средствами БВК.

Если хотя бы одно из этих условий не выполняется, ДД считаются нереализуемыми; тогда проводится их коррекция, и процедура подготовки реализуемых ДД повторяется до тех пор, пока все ДД для ЛА всей группировки не станут реализуемыми.

Для решения пятой задачи требуется определить границы АСПД, что носит системный характер; такая необходимость возникает по причине наличия у современных ЛА мощных вычислительных комплексов. Поскольку пункты отправления ЛА наряду с основным пунктом могут содержать перечень запасных пунктов, которые затруднительно заранее предусмотреть с помощью ППГЛА, возможен вариант включения ЛА в состав АСПД.

Можно легко показать, что такой вариант АСПД практически неприемлем, поэтому границы АСПД заканчиваются носителем информации, на котором записаны подготовленные качественные ДД*, удовлетворяющие указанным выше условиям их реализуемости. Взамен АСПД должна содержать подсистему расчета и контроля реализуемости ДПЛА по алгоритмам БВК с использованием интерпретатора БВК, а соответствующие реализуемые ДД* записываются на носитель информации и считываются в БВК.

При решении шестой задачи требуется определить все подсистемы АСПД, которые определяются по видам данных, используемых при подготовке ДД и ДПЛА (рис. 3).

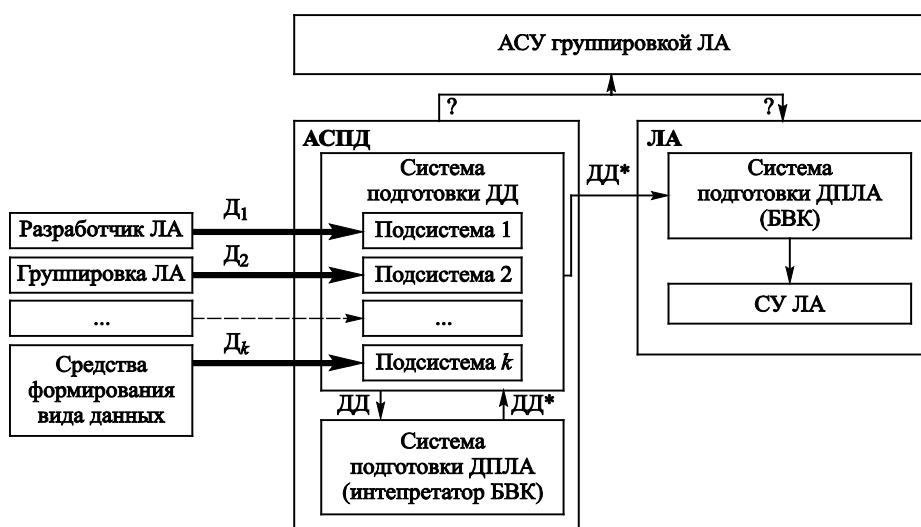


Рис. 3. Облик автоматизированной системы подготовки данных после определения границ ее подсистем

Для решения седьмой задачи необходимо установить вид данных, поступающих из АСПД в АСУ группировкой ЛА. Эти данные формируются, исходя из безопасности использования группировки ЛА, и носят название характеристики ДД (ХДД). Данные этого вида предотвращают несанкционированное использование группировки ЛА.

Описанный в шестой и седьмой задачах вариант построения АСПД (рис. 4) позволяет утверждать, что с вероятностью, практически равной единице, подготовленные ДД будут удовлетворять указанным выше условиям их реализуемости.

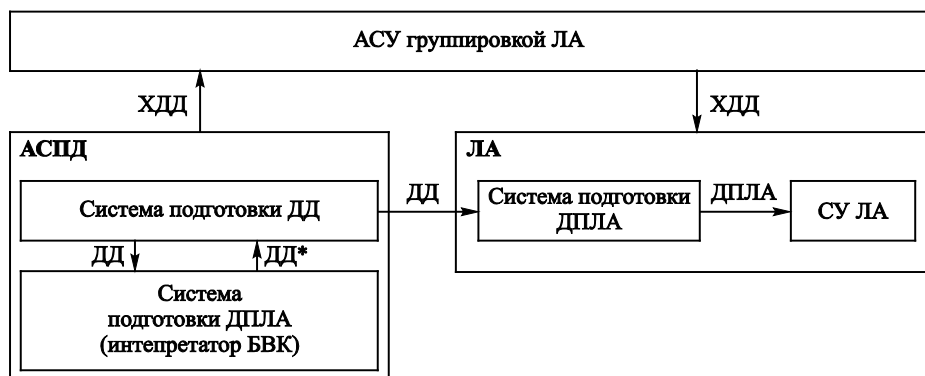


Рис. 4. Общая схема автоматизированной системы подготовки данных

При решении восьмой задачи требуется определить все взаимосвязи аэробаллистических фильтров (АБФ). Такие взаимосвязи можно представить достаточно информативной схемой (рис. 5).



Рис. 5. Схема входа-выхода и взаимосвязей алгоритмов контроля подготовки (формирования и контроля реализуемости) данных достижимости

Решение девятой задачи весьма объемно, оно изложено в работе [8].

Для решения десятой задачи требуется определить полные и правильные внешние спецификации, что является самым ответственным в разработке программного обеспечения (ПО) АСПД [7].

Общее описание полных и правильных внешних спецификаций Π_{ck} составляет суть предварительного внешнего проекта $\Pi_{ПВП}$, т. е. имеет место соответствие

$$\psi : \mathcal{Z}_{oj} \rightarrow \Pi_{ck}.$$

Хотя методологии внешнего проектирования не существует, важно соблюдать принцип концептуальной целостности, предполагающий создание небольшого набора хорошо согласованных функций [9].

В рассматриваемом виде проекта представлены только общие задачи, связанные с определением взаимосвязей с внутренними элементами системы, и не уделяется внимание более частным задачам. Для подготовки спецификаций АСПД должна иметь определенный уровень членения (рис. 6).

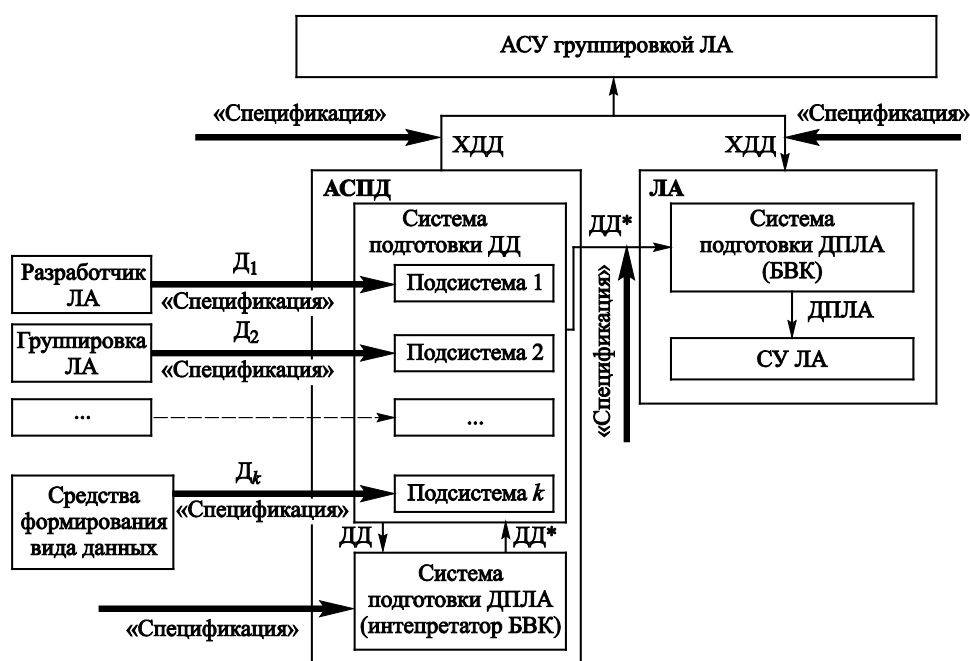


Рис. 6. Общая схема спецификаций автоматизированной системы подготовки данных

С организационной точки зрения внешнее проектирование АСПД должны осуществлять один-два человека, что повышает персональную ответственность за принятые проектные решения. В работе [7] отмечается, что «...простейший способ добиться отсутствия концептуальной целостности — попытаться разрабатывать внешний проект

слишком большой группой». В случае выполнения крупного проекта этим проектировщикам необходима помощь «...исследователей, ассистентов, чертежников, секретарей и т.п. Помощники занимаются сбором и обработкой информации, но не проектированием, т.е. принятием решений или собственно написанием спецификаций».

Для осуществления внешнего проектирования необходимы специалисты с особыми компетенциями: они должны разбираться в предметной области, понимать нужды заказчика, разбираться в психологии общения человека с машиной, знать все этапы проектирования и тестирования системы, чтобы понимать влияние на них внешнего проектирования. Кроме того, требуется проводить визуальный контроль достоверности документа, содержащего внешние спецификации, который является весьма объемным. Для лучшего понимания этот документ должен иметь иерархическую структуру:

- основные компоненты — первый уровень иерархии;
- компоненты — второй уровень иерархии;
- функции — третий уровень иерархии.

В работе [10] предлагается использовать композиционный принцип проектирования ПО АСПД, который состоит из двух компонентов: системы явных проектных оценок и ряда мыслительных процессов, обеспечивающих разбиение программ на множество модулей, а также их сопряжений и отношений.

Для решения одиннадцатой задачи необходима разработка методов и средств контроля качества проектирования АСПД.

По завершении каждого этапа проектирования должен быть выпущен специальный документ (назовем его «Этапный отчет») со сведениями о проделанной работе и ее результатах. В общем случае оценка качества «Этапного отчета» должна проводиться в двух аспектах: синтаксическом (с оценкой показателя его достоверности) и семантическом (с оценкой правильности изложенных в нем предположений, методов решений и т.д.).

Оценку «Этапного отчета» в семантическом плане должна осуществлять специально созданная комиссия, состоящая из представителей разработчика ЛА, разработчика АСПД и заказчика. От указанных организаций в комиссию включают представителей руководства, системных аналитиков, алгоритмистов, программистов и документалистов. Для успешной работы этой комиссии и достоверности ее решения «Этапный отчет» должен содержать подробное обоснование и вывод всех аналитических выражений, а также комментарии к исходным текстам программ.

В зависимости от выполняемых на этапе работ модель каждого этапа процесса проектирования АСПД формально может быть представлена двумя технологическими участками (ТУ) — логическим (ЛТУ) и синтаксическим (СТУ) [11].

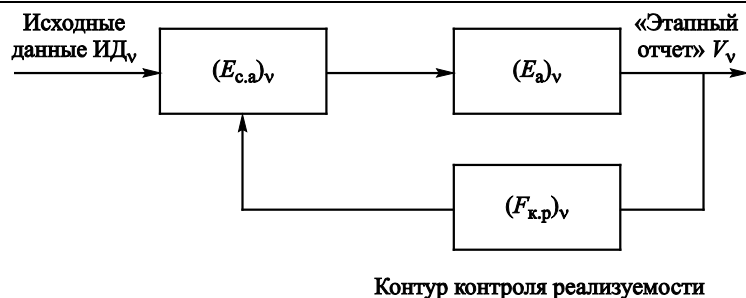


Рис. 7. Структура v -го логического технологического участка семантической верификации проекта

В модели ЛТУ (рис. 7) обозначены два основных вида семантических ошибок, которые могут быть допущены на ЛТУ v -го этапа проектирования АСПД:

$(E_{c.a})_v$ — системные ошибки, допущенные системным аналитиком, определяющие облик системы;

$(E_a)_v$ — алгоритмические ошибки, допущенные алгоритмистом, определяющие процесс функционирования системы.

Указанные виды ошибок нейтрализуются (предотвращаются) указанной комиссией с использованием следующих способов контроля семантической правильности $(F_{c.п})_v$ принимаемых проектных решений:

$(F_{п.р})_1$ — анализ проектных решений, которые принимаются на данном v -м этапе проектирования АСПД;

$(F_{a.р})_2$ — анализ правильности всех аналитических выражений, разработанных на данном v -м этапе проектирования АСПД.

После того как будут завершены процедуры обнаружения и исправления всех ошибок выявленных видов на v -м этапе проектирования АСПД, документалист формирует материалы «Этапного отчета». Эти материалы проверяют на достоверность, согласуются во всех перечисленных выше организациях и утверждаются заказчиком. В таком виде «Этапный отчет» является официальным документом, согласно которому может проводиться проектирование АСПД.

Совокупность «Этапных отчетов» составляет «Итоговый отчет», который также подлежит синтаксическому и семантическому контролю правильности изложенных в нем материалов. Этот документ служит научной и юридической основой финансирования работ по проектированию АСПД и его реализации в проекте системы.

Формально модель синтаксического контроля документов «Этапных отчетов» каждого этапа процесса проектирования АСПД может быть представлена СТУ (рис. 8).

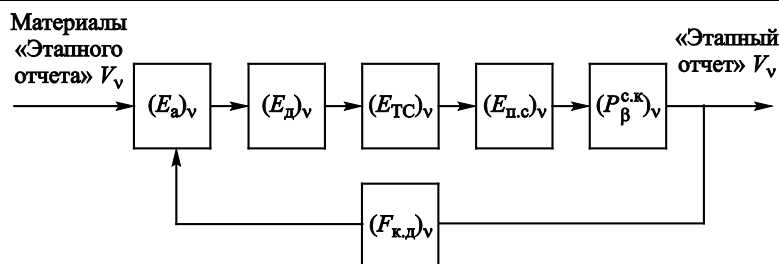


Рис. 8. Схема структуры v -го синтаксического технологического участка синтаксической верификации проекта

В модели СТУ обозначены ошибки, допущенные на v -м этапе проектирования АСПД следующими источниками:

- $(E_o)_v$ — ошибки, допущенные оператором;
- $(E_d)_v$ — ошибки, допущенные документалистом;
- $(E_{п.с})_v$ — ошибки, допущенные программистом;
- $(E_{ТС})_v$ — сбои (отказы) технических средств (ТС);
- $(P_{\beta}^{c.к})_v$ — вероятность ошибки второго рода средств контроля

достоверности, используемой на v -м этапе проектирования АСПД.

С учетом последовательного соединения элементов СТУ можно определить для общего случая вероятность искажения формируемых данных на каждом этапе проектирования АСПД:

$$Q_v = \left\{ 1 - \left[(1 - Q_{v-1}) \times (1 - Q_v^{c.a}) \times (1 - Q_v^a) \times (1 - Q_v^n) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times (1 - Q_v^o) \times (1 - Q_v^d) \times (1 - Q_v^{TC}) \times (1 - Q_v^{п.с}) \right] \right\} \varphi_{S_i} (P_{\beta}^{c.к}), \quad (1)$$

$$v = \overline{1, V},$$

где $Q_{(v-1)=0}$ — вероятность искажения данных на входе в v -м ТУ; Q_v^d — вероятность внесения ошибки документалистом на v -м ТУ; Q_v^o — вероятность внесения ошибки оператором на v -м ТУ; Q_v^{TC} — вероятность сбоя (отказа) ТС на v -м ТУ; $Q_v^{п.с}$ — вероятность проявления программной ошибки ПС на v -м ТУ; $\varphi_{S_i} (P_{\beta}^{c.к})$ — функция, зависящая от вида средств контроля достоверности данных на v -м ТУ; $P_{\beta}^{c.к}$ — вероятность ошибки второго рода средств контроля на v -м ТУ.

Несмотря на то что этот алгоритм весьма прост, для него требуется наличие значительного числа исходных данных разнообразных видов, перечень которых приведен в работах [11, 13].

Для решения двенадцатой задачи требуется разработка метода и средств контроля качества ДД и ДПЛА, которые в наибольшей степени использовали бы технические возможности ЛА. Эта задача

носит весьма проблематичный характер и не может быть кратко раскрыта в настоящей статье. Поэтому ограничимся лишь наименованием методов и средств ее решения. Средством решения этой задачи является полная модель возмущенного полета ЛА. Для решения этой задачи целесообразно использовать метод стохастического факторного анализа, этапы проведения которого осуществляются в следующей последовательности [12]: качественный анализ, количественный анализ, проверка адекватности модели.

Практическая реализация указанных этапов основывается на применении корреляционного, регрессионного, дисперсионного, компонентного, кластерного и других методов анализа.

Для решения тринадцатой задачи необходима разработка методов и средств контроля качества ДД в узком смысле слова: оперативности подготовки ДД, их достоверности и реализуемости. Это также весьма объемная задача, она подробно рассмотрена в работах [11, 13], поэтому отметим только, что ее решение базируется на использовании метода технологических участков [11], который позволяет вычислить указанные характеристики по формуле (1) с учетом рассмотрения не процесса проектирования системы, а процесса ее функционирования.

Заключение. В настоящей статье дано полное полуформальное описание процесса проектирования АСПД. Предложены основные методы повышения качества проектирования АСПД, методы семантического контроля правильности принимаемых проектных решений и синтаксического контроля правильности разработанной документации на проектирование АСПД. Представлены основные тринадцать задач проектирования АСПД, которые при практическом применении приобретут более конкретный вид и позволят существенно повысить качество проектируемой системы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пугачев В.С. *Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления*. Москва, Физматгиз, 1960, 883 с.
- [2] Федотова А.В., Давыденко И.Т. Применение семантических технологий для проектирования интеллектуальных систем управления жизненным циклом продукции. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2016, № 3, с. 74–81.
- [3] Евгеньев Г.Б., Крюков С.С., Кузьмин Б.В., Стисес А.Г. Интегрированная система автоматизации проектирования технологических процессов и оперативного управления производством. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015, № 3, с. 49–60.
- [4] Кузин Е.И., Кузин В.Е. Управление жизненным циклом сложных технических систем: история развития, современное состояние и внедрение на машиностроительном предприятии. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 1. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-1-1457>

- [5] Кузин Е.И., Кузин В.Е. Поддержка жизненного цикла сложных технических систем: анализ декларативного и императивного подходов к моделированию поведения виртуальных предприятий. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 5 (53). <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-5-1499>
- [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] Майерс Г. *Надежность программного обеспечения*. Москва, Мир, 1980, 360 с.
- [8] Журбин С.А., Казаков Г.В., Корянов В.В. Методы обоснования количественного состава и оценки значений показателей надежности технических объектов вычислительной сети летательных аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2020, вып. 8. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-8-2009>
- [9] Брукс Ф.П. *Как проектируются и создаются программные комплексы*. Москва, Наука, 1979, 152 с.
- [10] Myers G.J. *Reliable Software Throught Composite Design*. New York; Petrocelli/Charter, 1975.
- [11] 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>
- [12] Любушин Н.П. *Теория экономического анализа*. Москва, Юнити, 2010, 576 с.
- [13] 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 21.06.2021

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Андреев А.Г., Журбин С.А., Казаков Н.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>

Андреев Анатолий Георгиевич — канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России. Автор более 80 работ в области надежности автоматизированных систем управления. e-mail: kgv.64@mail.ru

Журбин Сергей Александрович — старший научный сотрудник ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России. Автор более 10 работ в области надежности автоматизированных систем управления. e-mail: ubc4@cnt.ru

Казаков Геннадий Викторович — канд. техн. наук, доцент, начальник управления ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России, почетный работник науки и техники Российской Федерации. Автор более 80 работ в области надежности автоматизированных систем управления. e-mail: kgv.64@mail.ru

Корянов Всеволод Владимирович — канд. техн. наук, доцент, первый заместитель заведующего кафедрой «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 170 публикаций. e-mail: vkoryanov@bmstu.ru

Optimization of automated flight data preparation system design process

© A.G. Andreev¹, S.A. Zhurbin¹, G.V. Kazakov¹, V.V. Koryanov²

¹FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”, Korolyov town, Moscow region, 141091, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The paper introduces a methodological approach to optimizing the automated flight data preparation system design process by using organizational and technical measures to minimize the number of design errors and miscalculations of an accidental and deliberate nature. The study proposes to build the structure of the system design process according to the principle “from the general to the particular”, based on which the connections between different stages of design are determined in the form of surjective and bijective correspondences. In the diagram of design stages of the automated data preparation system, each lower level of the hierarchy is a decomposition of the elements of the adjacent upper level into more specific elements. The main methods of improving the quality of system design, methods of semantic control of the correctness of the design decisions, and syntactic control of the correctness of the developed documentation for the design of the automated data preparation system are proposed. The main thirteen problems of system design are considered, which, in practical application, will acquire a more specific form and significantly improve the designed system's quality.

Keywords: *automated data preparation system, reachability data, flight data, aircraft, logical technological section, semantic correctness, syntactic correctness, syntactic technological section*

REFERENCES

- [1] Pugachev V.S. *Teoriya sluchaynykh funktsiy i ee primeneniye k zadacham avtomaticheskogo upravleniya* [The theory of random functions and its application to problems of automatic control]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1960, 883 p.
- [2] Fedotova A.V., Davydenko I.T. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroeniye — BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2016, no. 3, pp. 74–81.
- [3] Evgenev G.B., Kryukov S.S., Kuzmin B.V., Stises A.G. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroeniye — BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2015, no. 3, pp. 49–60.
- [4] Kuzin E.I., Kuzin V.E. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2016, iss. 1.
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-1-1457>
- [5] Kuzin E.I., Kuzin V.E. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2016, iss. 5 (53).
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-5-1499>
- [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] Myers G.J. *Software Reliability. Principles and Practices*. Wiley, 1st ed. 1976, 360 p. [In Russ.: Myers G.J. *Nadezhnost programmogo obespecheniya*. Moscow, Mir Publ., 1980, 360 p.]

- [8] Zhurbin S.A., Kazakov G.V., Koryanov V.V. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii* — *Engineering Journal: Science and Innovation*, 2020, iss. 8. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-8-2009>
- [9] Brooks. F.Ph. *The Mythical Man-Month. The: Essays on Software Engineering*. Addison-Wesley Professional, ann. ed., 1995, 336 p. [In Russ.: Brooks F.Ph. *Kak proektiruyutsya i sozdayutsya programmnye komplekсы*. Moscow, Nauka Publ., 1979, 152 p.].
- [10] Myers G.J. *Reliable Software through Composite Design*. New York, Petrocelli/Charter, 1975.
- [11] 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>
- [12] Lyubushin N.P. *Teoriya ekonomicheskogo analiza* [The theory of economic analysis]. Moscow, Yuniti Publ., 2010, 576 p.
- [13] 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>

Andreev A.G. (b. 1941), Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Fellow, FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”; author of over 80 works in the field of automated control system reliability. e-mail: kgv.64@mail.ru

Zhurbin S.A. (b. 1962), Senior Research Fellow, FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”; author of over 10 works in the field of reliability of automated control systems. e-mail: ubc4@cnt.ru

Kazakov G.V. (b. 1964), Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Head of the 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 over 80 works in the field of automated control system reliability. e-mail: kgv.64@mail.ru

Koryanov V.V. (b. 1982) graduated from Bauman Moscow State Technical University in 2006; Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, First Deputy Head of the Department of Dynamics and Flight Control of Rockets and Spacecraft; author of over 170 works in the field of ballistics modelling and dynamics of spacecraft and descent vehicle motion. e-mail: vkoryanov@bmstu.ru