

Принципы проектирования и разработки автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов

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

¹ ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России,
г. Королев, Московская обл., 141091, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Проблема качества автоматизированных систем может быть решена как с общих позиций, так и с позиций обеспечения качества отдельных компонентов системы (программного обеспечения, средств информационной безопасности и др.). Однако при этом остается ряд вопросов частного характера, обусловленных особенностями конкретной автоматизированной системы. Возникновение ошибок в автоматизированной системе подготовки данных полета летательных аппаратов может привести к невосполнимым потерям, наибольший ущерб наносят ошибки проектирования и неправильные общие решения, реализуемые на этапе разработки системы. Это обусловило необходимость определения специфических принципов проектирования и создания системы. Выработанные принципы проектирования автоматизированной системы заключаются, во-первых, в определении ее эталонного результата, во-вторых, в выделении основных видов данных и обеспечении контроля их синтаксической и семантической правильности и, в-третьих, в правильном определении границ системы. Теоретическую основу принципов разработки автоматизированной системы составляют положения системного подхода, в частности нового применения инструмента стратификации системы. В качестве примера рассмотрена типовая автоматизированная система подготовки данных. Показано, что использование предложенных принципов позволяет избежать или свести к минимуму проектные ошибки и просчеты и довести стратификацию представления системы до уровня, позволяющего получить необходимые исходные данные и оценить показатели качества выходных данных.

Ключевые слова: автоматизированная система, данные достижимости, данные полета, качество, летательный аппарат, план полетов, подготовка данных, программно-моделирующий комплекс, стратификация, технологический участок, элементарный процесс

Введение. Основоположник единых методических подходов к проектированию автоматизированных систем (АС) академик В.М. Глушков сформулировал основные принципы создания АС [1]:

1) *принцип системности.* Позволяет подойти к исследуемому объекту как единому целому, выявить на этой основе многообразные типы связей между структурными элементами, обеспечивающими целостность системы, установить направления деятельности системы и реализуемые ею конкретные функции;

2) *принцип развития*. Заключается в создании АС с учетом возможности постоянного пополнения и обновления функций системы и видов ее обеспечения;

3) *принцип совместимости*. Обеспечивает взаимодействие АС различных видов, назначений и уровней в процессе их совместного функционирования;

4) *принцип стандартизации и унификации*. Заключается в необходимости применения типовых, унифицированных и стандартизованных элементов функционирования АС;

5) *принцип эффективности*. Обеспечивает достижение рационального соотношения между затратами на создание АС и целевым эффектом, получаемым при ее функционировании.

Как правило, кроме основополагающих принципов для эффективного осуществления управления выделяют также ряд частных принципов, детализирующих общие [2–5]:

принцип декомпозиции, основанный на разделении системы на части, создании условий для более эффективного ее анализа и проектирования;

принцип первого руководителя, закрепляющий ответственность при создании системы за заказчиком, отвечающим за функционирование АС;

принцип абстрагирования, выделяющий существенные аспекты системы;

принцип новых задач, предусматривающий поиск постоянного расширения возможностей системы, совершенствование процесса управления;

принцип формализации, заключающийся в необходимости строгого методологического подхода к решению проблемы, использованию формализованных методов описания и моделирования изучаемых и проектируемых процессов функционирования системы;

принцип концептуальной общности, предусматривающий строгое следование единой методологии на всех этапах проектирования АС и всех ее компонентов;

принцип непротиворечивости и полноты, заключающийся в наличии и согласованном взаимодействии всех элементов во вновь создаваемой системе;

принцип автоматизации информационных потоков и документооборота, предусматривающий комплексное использование технических средств на всех этапах обработки информации;

информационный принцип, направленный на детальное и всестороннее изучение информации и информационных процессов, сопровождающих процессы управления в исследуемом объекте;

принцип автоматизации проектирования, нацеленный на повышение эффективности самого процесса проектирования и создания АС;

принцип независимости данных, предполагающий независимый от процессов обработки анализ и проектирование модели данных;

принцип структурирования, предусматривающий необходимость структурирования и иерархической организации элементов информационной базы системы;

принцип доступа конечного пользователя, заключающийся в наличии средств доступа пользователя к базе данных АС.

Анализ состояния решения проблемы обеспечения качества автоматизированных систем. При решении проблемы построения АС с требуемым качеством можно выделить два аспекта. Первый аспект связан с решением проблемы с общих позиций [6–9], второй — является решением вопросов качества программного обеспечения (ПО) [10–14] и информационной безопасности АС [15–21].

Наряду с решением общих вопросов обеспечения качества сложной системы развивались и методы решения более частных задач. В этом аспекте наиболее общими вопросами являются методы теории оптимизации [22–24]. Однако их использование при проектировании систем — это относительно редкий случай, поскольку, во-первых, само решение представляет собой весьма сложную процедуру, и, во-вторых, даже если оптимальное решение получено, его зачастую невозможно реализовать на практике.

В связи с тем что основным элементом сложных систем является ПО, остались актуальными вопросы обеспечения надежного программирования [10–14].

Другим направлением задач второго аспекта стали вопросы, связанные с обеспечением информационной безопасности сложных систем [15–21]. Доказано, что защитить произвольную АС от деструктивных воздействий практически невозможно, поэтому в плане безопасности в настоящее время решаются частные вопросы, связанные с обеспечением безопасности конкретных АС с учетом известных угроз.

Таким образом, уровень решения проблемы обеспечения требуемого качества АС оставляет ряд нерешенных вопросов частного характера, обусловленных особенностями конкретной АС.

Основные задачи, решаемые автоматизированной системой подготовки данных полета летательных аппаратов. Автоматизированная система подготовки данных (АСПД) полета летательных аппаратов (ЛА) по своей сути является системой контроля правильности подготовки этих данных, что обусловило необходимость определения специфических основных принципов ее проектирования и разработки.

Множество ЛА совершает полет согласно плану полетов (ППЛА), подготавливаемому внешней по отношению к АСПД системой исходных данных (ИД). Очевидно, что назначение пункта прибытия для каждого ЛА осуществляется в зависимости от запаса топлива и его удельного расхода. В связи с этим в бортовую аппаратуру (БА)

ЛА должны быть введены данные достижимости (ДД), содержащие также и координаты соответствующего пункта прибытия.

Формирование управляющих сигналов автоматической БА ЛА представляет собой сложный процесс, который требует ввода в БА заранее определенных данных полета ЛА (ДПЛА), определяющих маршрут полета ЛА.

Известно, что наибольший ущерб любой АС наносят ошибки проектирования и неправильные общие решения, реализуемые на этапе разработки системы. Для сведения к минимуму или исключению таких ошибок и просчетов необходимо, чтобы технология проектирования и разработки системы соответствовала определенным принципам.

Принципы проектирования автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов. *Первый принцип проектирования АСПД* заключается в определении ее эталонного результата как для контроля синтаксической правильности данных (достоверности), так и для контроля семантической правильности (реализуемости) подготовленных ДПЛА, осуществляемого специальным программным обеспечением (СПО).

При семантическом контроле правильности функционирования СПО АСПД под эталонным результатом понимается априори известный результат функционирования программы при любых значениях входных данных из допустимой области $X_{\text{доп}}$.

Для простых алгоритмов эталон-результат может быть определен относительно легко. Однако если программа производит вычисление сложных функций, то получение эталона-результата может оказаться практически невозможным, и определение правильности результата ее функционирования является достаточно сложной, а в отдельных случаях неразрешимой задачей.

Другой подход заключается в создании эталонной программы и сравнении результатов функционирования имеющейся программы с результатами функционирования эталонной программы. При отрицательном результате сравнения считается, что в имеющейся программе возникает ошибка. Это положение в корне ошибочное, поскольку, согласно обоснованному утверждению М.Х. Холстеда [25], любая программа объемом более 3000 бит содержит некоторое число ошибок. Следовательно, СПО АСПД объемом в десятки и сотни тысяч бит заведомо содержит ошибки.

В работе [26] отмечается, что, во-первых, для сложного ПО не существует эталонных программ и, во-вторых, понятие ошибки в ПО весьма расплывчато и его необходимо конкретизировать. Для корректного определения указанных понятий остановимся на особенностях ПО для БА.

Так, ЛА совершают полет в соответствии с подготовленной системой ИД и разрешением на их полет. Кроме того, ППЛА определяет

координаты пунктов прибытия. Указанная особенность ЛА позволяет использовать не эталонную программу, а эталон-результат в виде координат пункта прибытия. Если при моделировании полета ЛА координаты пункта прибытия находятся в пределах заданных допустимых отклонений от координат планового пункта прибытия, то СПО АСПД выдало правильный результат.

Таким образом, первый принцип проектирования АСПД заключается в создании специальных моделей полета ЛА, которые должны подготовить и проконтролировать реализуемость данных, обеспечивающих требуемый уровень точности прилета ЛА в запланированный пункт прибытия.

Второй принцип проектирования АСПД заключается, во-первых, в выделении основных видов обрабатываемых системой необходимых объекту-потребителю данных и, во-вторых, в обеспечении контроля их синтаксической и семантической правильности.

АСПД должна подготовить два вида данных:

- 1) ДД запланированного пункта прибытия, определяемые в основном энергетическими характеристиками ЛА;
- 2) ДПЛА, зависящие от инерционно-массовых и конструктивных характеристик ЛА и ограничений со стороны БА, определяющие точность достижения ЛА запланированного пункта прибытия.

В данном случае реализуемость ДД является только необходимым условием выполнения поставленной в ППЛА перед ЛА задачи по достижению пункта прибытия.

Достаточным условием является реализуемость ДПЛА. Для обеспечения реализуемости ДД необходимо создать модель, определяющую функцию расхода топлива от дальности полета ЛА, а для обеспечения реализуемости ДПЛА — модель управляемого возмущенного полета ЛА от пункта отправления до пункта прибытия средствами программно-моделирующего комплекса (ПМК) контроля реализуемости ДПЛА.

Приведенные выше виды данных формируются с использованием других видов данных, которые должны быть достоверными. С точки зрения достоверности эталонными считаются входные данные первичных документов (ПДк), а также информация базы данных (БД) после того, как она прошла с положительным результатом n -кратную визуальную сверку с информацией ПДк. Для обеспечения достоверности циркулирующих в АСПД данных необходимо использовать средства их контроля.

Для обеспечения реализуемости выходных данных АСПД необходимо создать адекватную имитационную модель функционирования ЛА для контроля реализуемости подготовленных ДД и ДПЛА.

В соответствии с указанными видами данных АСПД должна иметь следующие элементы, определяющие общий облик системы

(рис. 1): БД, программные средства ведения БД (ПС ВБД), СПО формирования данных достижимости (СПО ФДД), СПО контроля реализуемости данных достижимости (СПО КРДД), ПМК контроля реализуемости ДПЛА, средства анализа и устранения причин ошибок в ДД средствами АСПД и средствами системы ИД как внешней системы.

В соответствии с видами данных АСПД должна содержать два контура: контур контроля реализуемости ДД (малый контур подготовки ДД) и контур контроля реализуемости ДПЛА (малый контур подготовки ДПЛА).

Первый контур должен содержать СПО ФДД и СПО КРДД, а второй — БД и ПМК. Оба контура должны включать в свой состав группу аналитиков-алгоритмистов, способных провести анализ и устранение причин не нормы (НН) ДД и ДПЛА.

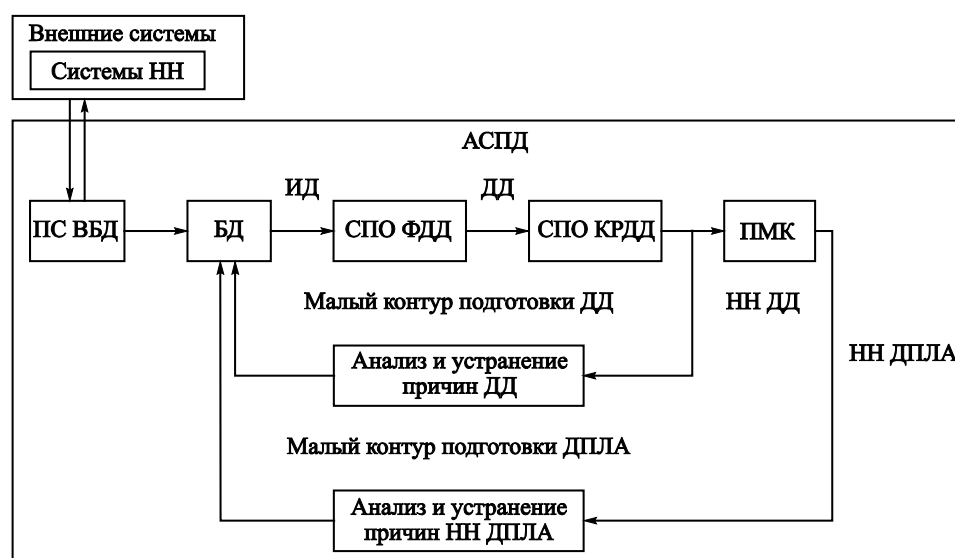


Рис. 1. Общий облик структуры АСПД

Третий принцип проектирования заключается в правильном определении границ АСПД. Для этого следует определить все виды информации, необходимые для подготовки ДД, и их источники в виде внешних систем, информационно связанных с АСПД. К таким типовым системам относятся:

- система исходных данных, распределяющая множество ЛА по запланированным пунктам прибытия. Эта система поставляет входную информацию для АСПД в виде ППЛА;
- система разработки ЛА, которая выдает конструкторскую информацию (КИ) о ЛА для формирования управляющих воздействий БА, расчета и контроля реализуемости ДПЛА, а также алгоритмы

функционирования БА, на основании которых проводится подготовка ДД, рассчитываются и контролируются ДПЛА;

- исполнительная система, отслеживающая состояние и характеристики множества ЛА (например, ГИ — геодезическую информацию) и выдающая эти данные системе планирования.

Вопрос заключается в том, где должны подготавливаться ДПЛА. Как правило, в АСПД формируются только ДД, которые поступают в БА ЛА. По этим ДД БА ЛА рассчитывает и контролирует ДПЛА. Если в ДД содержатся ошибки любого рода, то ДПЛА подготовлены не будут и полет данного ЛА не состоится. В этом случае в систему ИД отправляется сообщение о том, что ДД не являются реализуемыми и их необходимо скорректировать и отправить в БА ЛА заново. Это очень длительная операция, а при необходимости экстренного вылета ЛА такая ситуация недопустима.

Выход из этой ситуации очевиден. Необходимо, чтобы ДПЛА готовились не средствами БА, а средствами АСПД. Для реализации этой идеи необходимо в состав АСПД ввести ПМК контроля семантической правильности ДПЛА, а в БА посылать те ДД (обозначим их через ДД*), для которых ПМК как система контроля выдала положительный результат. Очевидно, что в этом случае вероятность возникновения указанной негативной ситуации будет близка (или даже равна) нулю.

Принципы разработки автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов. Известно, что для правильного понимания сложной системы фундаментальную роль играет иерархический подход [27, 28], связанный со стратификацией (специфической декомпозицией) моделей.

Вначале можно ограничиться одной стратой в зависимости от рассматриваемой задачи и имеющегося запаса знаний, а затем можно либо детализировать свои знания, двигаясь вниз по иерархии, либо достигнуть более глубокого понимания системы, двигаясь вверх по иерархии.

Выбор исходной страты отчасти определяется также простотой описания системы. Отсюда следует *первый принцип разработки АСПД*, который заключается в стратифицированном описании модели системы [8, 29].

Общий облик АСПД, полученный на этапе проектирования, можно считать первой стратой. На этой страте определены только основные задачи системы, но не средства их решения. Нумерация страт никакой роли не играет, поэтому для наших целей удобнее нумеровать их таким образом, чтобы первой стратой был общий облик системы, полученный на этапе ее проектирования. На второй страте рассматриваются вопросы, которые относятся к задачам, определен-

ным на первой страте. Поэтому появляются элементы системы «загрузка базы данных», «подготовка полетных документов» для системы ИД и малый контур подготовки ДД (рис. 2).

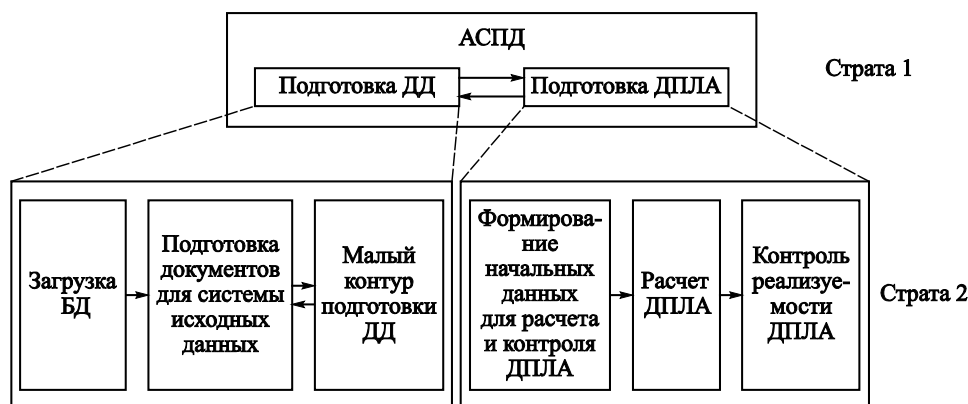


Рис. 2. Представление АСПД двумя стратами (1 и 2)

Очевидно, что представление системы двумя стратами не позволяет определить конструктивную схему системы. Следовательно, необходимо продолжить процесс стратификации и представить систему тремя стратами.

Глубина стратификации определяется такой подробной схемой информационного представления системы, которая позволяет определить показатели качества данных, имеющих ясный физический смысл, и получить для их расчета необходимые исходные данные.

Второй принцип разработки АСПД заключается в доведении процесса стратификации моделей системы до уровня, при котором можно составить структурную схему процесса функционирования системы.

Так, на первой страте проводится описание системы на уровне основных данных, подготавливаемых системой для ЛА. На этой страте формальное представление алгоритма функционирования системы является наиболее общим и имеет следующий вид:

$$A_{\text{ДД}}(\text{НД})|\text{Н}| \Rightarrow A_{\text{ДПЛА}}(\text{ДД})|\text{Н}| \rightarrow \text{ДД} \Rightarrow \text{ДД}^* \vee \text{ДПЛА}|\text{НН}| \Rightarrow \text{О}_{\text{КД}}.$$

Здесь $A_{\text{ДД}}(\text{НД})|\text{Н}|$ — оператор формирования ДД из необходимых начальных данных (НД) и контроля их реализуемости с положительным результатом контроля «норма» (Н), при котором ДД обрабатываются оператором формирования и контроля реализуемости ДПЛА с положительным результатом контроля: $A_{\text{ДПЛА}}(\text{ДД})|\text{Н}| \rightarrow \text{ДД} \Rightarrow \text{ДД}^*$ (см. рис. 2, прямая стрелка). Если результат контроля отрицательный —

ДПЛА|НН| — (см. рис. 2, обратная стрелка), то ДД обрабатываются оператором $O_{\text{КД}}$ (коррекция нереализуемых ДД).

На второй страте описание системы проводится на уровне задач, которые необходимо решить в процессе обработки основных данных. На этой страте формальное представление алгоритма функционирования системы имеет вид

$$A(\text{ПДк}) = (I_{\text{УСД}} \rightarrow I_{\text{ШБД}}) \Rightarrow A_{\text{ПС ВБД}}(I_{\text{ШБД}}) \rightarrow I_{\text{БД}} \Rightarrow A_{\text{ДД}}(\text{НД})|\text{Н}| \Rightarrow \\ \Rightarrow A_{\text{ДПЛА}}(\text{ДД}) \rightarrow \text{ДД} \Rightarrow \text{ДД}^* \vee \text{ДПЛА}|\text{НН}| \Rightarrow O_{\text{КД}}.$$

Здесь $A(\text{ПДк}) = (I_{\text{УСД}} \rightarrow I_{\text{ШБД}})$ — оператор преобразования документалистом информации ПДк в форму унифицированной системы документов (УСД) и в форму шаблонов БД (ШБД), осуществляемое оператором. В результате преобразования информации ШБД, введенной оператором $A_{\text{ПС ВБД}}(I_{\text{ШБД}}) \rightarrow I_{\text{БД}}$, получается информация $I_{\text{БД}}$ в структуре БД, которая используется для подготовки и контроля ДД. При положительном результате контроля

$$A_{\text{ДД}}(\text{НД})|\text{Н}| \Rightarrow A_{\text{ДПЛА}}(\text{ДД}) \rightarrow \text{ДД} \Rightarrow \text{ДД}^*.$$

На третьей страте система описывается в терминах систем контроля, поскольку содержит СПО КРДД, которое является программной реализацией системы контроля реализуемости ДД (ДПЛА).

Представление системы на третьей страте показано на рис. 3 (подготовка ДД) и рис. 4 (подготовка ДПЛА). Такое представление не совсем удобно, поэтому если дальнейшая стратификация не нужна, модель необходимо представить в обычной форме. При этом выделяются все необходимые средства для формирования и контроля достоверности и реализуемости ДД с учетом информационного окружения системы (внешних систем, информационно связанных с АСПД).

В этом случае формальное представление алгоритма функционирования системы имеет вид

$$[A_{\text{ДД}}(\text{НД})|\text{Н}| \Rightarrow A_{\text{ДПЛА}}[(\text{ДД}, \text{КИ}, \text{ГИ}, \text{ППЛА}) \rightarrow \text{ДПЛА}]|\text{Н}| \Rightarrow \\ \Rightarrow \text{ДД} \Rightarrow \text{ДД}^*] \vee [A_{\text{ДД}}(\text{НД})|\text{Н}| \Rightarrow A_{\text{ДПЛА}}[(\text{ДД}, \text{КИ}, \text{ГИ}, \text{ППЛА}) \rightarrow \\ \rightarrow \text{ДПЛА}]|\text{НН}| \Rightarrow O_{\text{КД}},$$

где $A_{\text{ДД}}(\text{НД})|\text{Н}|$ — оператор подготовки (формирования и контроля) ДД с признаком «норма ДД»; $A_{\text{ДПЛА}}[(\text{ДД}, \text{КИ}, \text{ГИ}, \text{ППЛА}) \rightarrow \text{ДПЛА}]|\text{Н}|$ — оператор подготовки ДПЛА с положительным результатом контроля

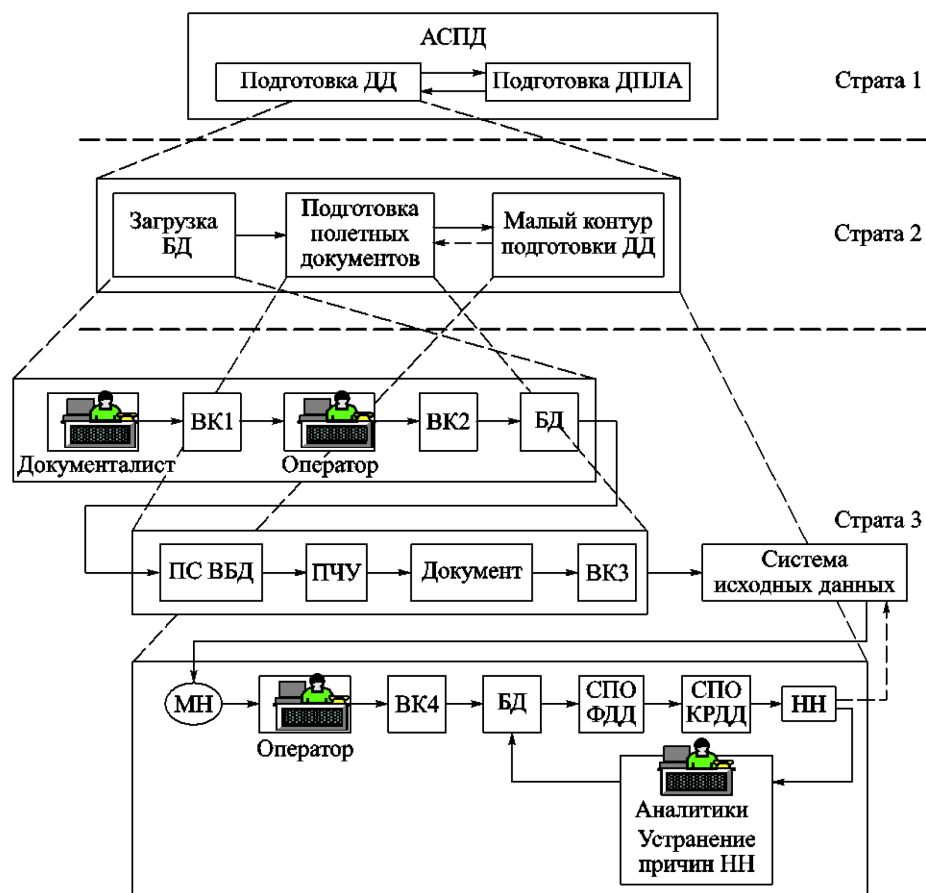


Рис. 3. Представление АСПД в виде трех страт (подготовка ДД):
 ВК — визуальный контроль данных; ПЧУ — печатающее устройство;
 МН — машинный носитель

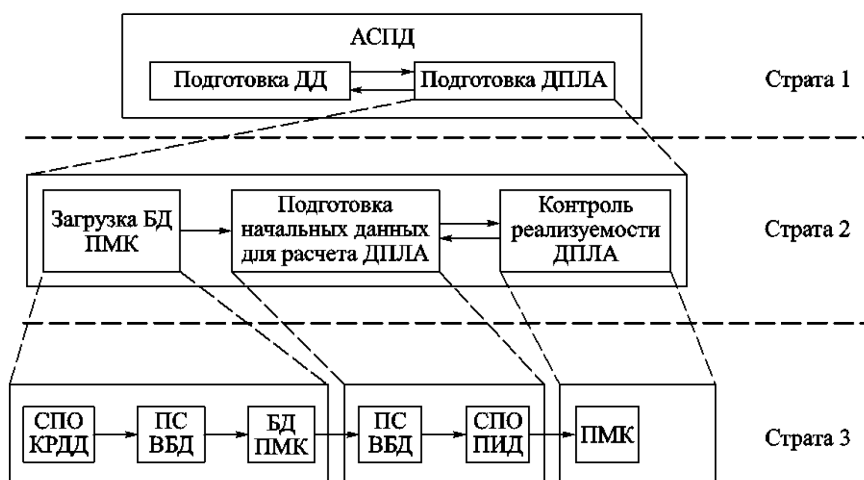


Рис. 4. Представление АСПД в виде трех страт (подготовка ДПЛА):
 СПО ПИД — специальное программное обеспечение подготовки исходных данных

«норма ДПЛА»; $ДД \Rightarrow ДД^*$ — оператор присвоения подготовленным ДД признака реализуемости (*); $A_{ДД}(НД)|Н| \Rightarrow A_{ДПЛА}[(ДД, КИ, ГИ, ППЛА) \rightarrow ДПЛА]|Н| \Rightarrow O_{КД}$ — оператор подготовки ДД с положительным результатом контроля реализуемости (норма ДД) и отрицательным результатом контроля ДПЛА (не норма ДПЛА); $\Rightarrow O_{КД}$ — оператор коррекции нереализуемых данных ДПЛА; КИ — конструкторская информация о ЛА.

Третий принцип разработки АСПД заключается в создании специфического способа описания системы на высшей страте, который позволит определить достоверность подготавливаемых системой ДД.

На первой (младшей) страте система описывалась в самом общем виде: выделены основные виды данных, сформированных системой; на второй — в более конкретном виде: определены основные операции, которые необходимо выполнить при подготовке ДД.

На третьей (высшей) страте проводится еще большая конкретизация в описании системы, на которой учтены все элементы АСПД и ее внешнее информационное окружение.

Дальнейшая стратификация модели системы смысла не имеет, но и представленное описание системы в виде структурной схемы не позволяет непосредственно вычислить показатель достоверности подготовленных ДД. Для выхода из этой ситуации необходимо использовать представление процесса подготовки ДД в виде технологических участков, из которых состоит каждый элементарный процесс подготовки данных (ЭППД) [18]. Показатели достоверности, реализуемости ДД и своевременности их подготовки будут определяться характеристиками ЭППД и их структурой.

Заключение. Предложены и обоснованы принципы, которым необходимо следовать при проектировании и разработке автоматизированных систем подготовки данных полета ЛА. В качестве примера рассмотрена типовая АСПД. Предложенные принципы позволяют избежать проектных ошибок и просчетов в процессе проектирования и разработки АС и довести стратификацию представления системы до уровня, позволяющего получить необходимые исходные данные и оценить показатели качества выходных данных для АСПД.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Глушков В.М. *Основы безбумажной информатики*. Москва, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1987, 552 с.
- [2] Коваленко С.М., Платонова О.В., Микитин В.М. Тенденции развития средств вычислительной техники и проблемы электронного конструирования. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015, № 12, с. 85–91.

- [3] Кузнецов В.В., Бабуров С.В., Мальчевский А.А., Самойлов А.В., Шатраков А.Ю. *Системный анализ в фундаментальных и прикладных исследованиях*. Санкт-Петербург, Политехника, 2014, 378 с.
- [4] Грубый С.В. Нелинейная оптимизация режимных параметров течения методом штрафной функции. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2018, № 4, с. 3–9.
- [5] Кузнецов О.В., Винокуров А.В., Бардаев Э.А. Теоретические основы обеспечения информационной безопасности робототехнических комплексов. *Военная мысль*, 2018, № 12, с. 71–78.
- [6] Бусленко Н.П. *Моделирование сложных систем*. Москва, Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1978, 400 с.
- [7] Месарович М., Мако Д., Такахара И. *Теория иерархических многоуровневых систем*. Москва, Мир, 1973, 344 с.
- [8] Буравцев А.В. Стратифицированный метод построения сложной системы. *Образовательные ресурсы и технологии*, 2017, № 3, с. 23–32.
- [9] Горский Ю.М., Урсул А.Д. Информация в управлении большими системами (методологические аспекты). В кн.: *Оптимизация и управление в больших системах энергетики*. Иркутск, СЭИ СО АН СССР, 1970, т. 3, с. 13–25.
- [10] Назаров С.В. *Архитектуры и проектирование программных систем*. Москва, ИНФРА-М, 2013, 413 с.
- [11] Жарко Е.Ф. Сравнение моделей качества программного обеспечения: Аналитический подход. *Сб. докл. XII Всерос. совещания по проблемам управления, ВСПУ-2014*, с. 4585–4594. URL: <http://vspu2014.ipu.ru/prcdngs>
- [12] Жарко Е.Ф. Оценка качества программного обеспечения АСУ ТП АЭС: Теоретические основы, основные тенденции и проблемы. *Труды X Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'15*. Москва, ИПУ РАН, 2015, с. 1129–1143.
- [13] Бедердинова О.И., Бойцова Ю.А. Интегральная оценка качества программных средств. *Вестник САФУ. Сер. Естеств. науки*, 2016, № 2, с. 99–106.
- [14] Королев В.Ю. Некоторые критерии проверки надежности программного обеспечения. *Системы и средства информатики*, 2013, т. 23, вып. 1, с. 132–142.
- [15] *Доктрина информационной безопасности*. Утверждена Указом Президента РФ от 5 декабря 2016 г. № 646. URL: <https://base.garant.ru/71556224/>
- [16] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Модель угроз информационной безопасности автоматизированной системы подготовки данных управления летательными аппаратами и модель защиты. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2018, № 6, с. 86–95.
- [17] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Метод оценки стойкости функций безопасности средств защиты автоматизированной системы управления полетами космических аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 7. DOI: 10.18698/2308-6033-2017-7-1634
- [18] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Методы оценки показателя информационной устойчивости автоматизированной системы управления полетами космических аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 6. DOI: 10.18698/2308-6033-2016-06-1505
- [19] Шаньгин В.Ф. *Информационная безопасность и защита информации*. Москва, ДМК, 2014, 702 с.
- [20] Малюк А.А. *Информационная безопасность: концептуальные и методологические основы защиты информации*. Москва, ГЛТ, 2016, 280 с.

- [21] Чипига А.Ф. *Информационная безопасность автоматизированных систем*. Москва, Гелиос АРВ, 2017, 336 с.
- [22] Зайцев М.Г. *Методы оптимизации управления для менеджеров: компьютерно-ориентированный подход*. Москва, Дело АНХ, 2016, 312 с.
- [23] Зайцев М.Г. *Методы оптимизации управления и принятия решений: примеры, задачи, кейсы*. Москва, Дело АНХ, 2015, 640 с.
- [24] Золоторев А.А. *Методы оптимизации распределительных процессов*. Вологда, Инфра-Инженерия, 2014, 160 с.
- [25] Холстед М.Х. *Начала науки о программах*. Москва, Финансы и статистика, 1981, 128 с.
- [26] Майерс Г. *Надежность программного обеспечения*. Москва, Мир, 1980, 360 с.
- [27] Рудаков И.В., Пашенкова А.В. Иерархический метод анализа функционирования программного обеспечения на основе сети Петри. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 6. DOI: 10.18698/2308-6033-2013-6-779
- [28] Угольницкий Г.А. *Иерархическое управление устойчивым развитием*. Москва, Издательство физико-математической литературы, 2010, 336 с.
- [29] Баласанян С.Ш. Метод стратифицированной формализации сложных технологических систем со многими состояниями. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 2016, т. 327, № 1, с. 6–18.

Статья поступила в редакцию 25.01.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

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>

Андреев Анатолий Георгиевич — канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России. Автор более 70 работ в области надежности автоматизированных систем управления. e-mail: kgv.64@mail.ru

Казаков Геннадий Викторович — канд. техн. наук, доцент, начальник управления ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России, почетный работник науки и техники Российской Федерации. Автор более 70 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 40 публикаций. e-mail: vkoryanov@bmstu.ru

Principles of design and development of automated system for aircraft flight data preparation

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

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

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

The problem of the quality of automated systems can be solved both from a common standpoint and from the standpoint of ensuring the quality of individual system components (software, information security tools, etc.). However, this leaves a number of particular questions due to the characteristics of a specific automated system. The occurrence of errors in the automated system for the preparation of aircraft flight data can lead to irreparable losses, the most damage is caused by design errors and incorrect general solutions implemented at the stage of system development. This necessitated the identification of specific principles of system design and development. The developed principles of designing an automated system consist, firstly, in determining its reference result, secondly, in identifying the main types of data and ensuring controlling their syntactic and semantic correctness, and, thirdly, in correct defining the boundaries of the system. The theoretical basis for the principles of the development of an automated system is the provisions of the systems approach, in particular, the new application of the system stratification tool. A typical automated data preparation system is considered as an example. It is shown that the use of the proposed principles allows avoiding or minimizing design errors and miscalculations and bringing the system representation stratification to a level that allows obtaining the necessary initial data and evaluating the quality indicators of the output data.

Keywords: *automated system, reachability data, flight data, quality, aircraft, flight plan, data preparation, software modeling complex, stratification, technological section, elementary process*

REFERENCES

- [1] Glushkov V.M. *Osnovy bezbumazhnoy informatiki* [Basics of paperless computer science]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 552 p.
- [2] Kovalenko S.M., Platonova O.V., Mikitin V.M. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2015, no. 12, pp. 85–91.
- [3] Kuznetsov V.V., Baburov S.V., Malchevsky A.A., Samoylov A.V., Shatrakov A.Yu. *Sistemnyy analiz v fundamentalnykh i prikladnykh issledovaniyakh* [Systems analysis in basic and applied research]. St. Petersburg, Politehnika Publ., 2014, 378 p.
- [4] Gruby S.V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2018, no. 4, pp. 3–9.
- [5] Kuznetsov, O.V., Vinokurov, A.V., Bardaev, E.A. *Voennaya mysl — Military Thought*, 2018, no. 12, pp. 71–78.
- [6] Buslenko N.P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Simulation of complex system]. Moscow, Nauka Publ., 1978, 400 p.

- [7] Mesarović M., Mako D., Takahara Y. *Theory of Hierarchical Multilevel Systems*. New York. Academic Publ., 1970, 294 p. [In Russ.: Mesarović M., Mako D., Takahara Y. Teoriya ierarkhicheskikh mnogourovnevnykh system. Moscow, Mir Publ., 1973, 344 p.].
- [8] Буравцев А.В. *Образовательные ресурсы и технологии (Educational Resources and Technologies)*, 2017, no. 3, pp. 23–32.
- [9] Gorsky Yu.M., Ursul A.D. Informatsiya v upravlenii bolshimi sistemami (metodologicheskie aspekty) [Information in the management of large systems (methodological aspects)]. In: *Optimizatsiya i upravlenie v bolshikh sistemakh energetiki* [Optimization and control in large power systems]. Irkutsk, Sibirskiy energeticheskiy institut Sibirskoe otdelenie AN SSSR Publ., 1970, vol. 3, pp. 13–25.
- [10] Nazarov S.V. *Arkhitektura i proektirovanie programmnykh system: monografiya* [Software architecture and design: monograph]. Moscow, INFRA-M Publ., 2013, 413 p.
- [11] Zharko E.F. Sravnenie modeley kachestva programmnoy obespecheniya: analiticheskiy podkhod [Comparison of software quality models: An analytical approach]. *XII Vserossiyskoe soveshanie po problemam upravleniya, VSPU-2014, 16-19 iyunya 2014 g.* [XII All-Russian Meeting on Management Issues, VSPU-2014, Moscow, June 16–19], pp. 4585–4594. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/prcdngs>
- [12] Zharko E.F. Otsenka kachestva programmnoy obespecheniya ASU TP ARS: Teoreticheskie osnovy, osnovnye tendentsii i problemy [Estimation of the quality of software for the NPP automated process control system: Theoretical foundations, main trends and problems]. *Trudy X Mezhdunarodnoy konferentsii "Identifikatsiya system i zadachi upravleniya, SICPRO'15* [Proceedings of the X International Conference "System Identification and Control Problems", SICPRO'15]. Moscow, Institut Problem Upravleniya RAN Publ., 2015, pp. 1129–1143.
- [13] Bederdinova O.I., Boytsova Yu.A. *Vestnik Severnogo Arkticheskogo federal'nogo universiteta. Seriya Estiestvennye nauki — Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series Natural Science*, 2016, no. 2, pp. 99–106.
- [14] Korolev V.Yu. *Sistemy i sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics*, 2013, vol. 23, no. 1, pp. 132–142.
- [15] *Doktrina informatsionnoy bezopasnosti. Utverzhdena Ukazom Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 5 dekabrya 2016 goda No. 646.* [Doctrine of information security. Approved by Decree of the President of the Russian Federation dated December 5, 2016 No. 646]. Available at: <https://base.garant.ru/71556224/>
- [16] Andreev A.G., Kazakov G.V., Koryanov V.V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2018, no. 6, pp. 86–95.
- [17] Andreev A.G., Kazakov G.V., Koryanov V.V. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2017, iss. 7. DOI: 10.18698/2308-6033-2017-7-1634
- [18] Andreev A.G., Kazakov G.V., Koryanov V.V. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2016, iss. 6. DOI: 10.18698/2308-6033-2016-06-1505
- [19] Shangin V.F. *Informatsionnaya bezopasnost i zaschita informatsii* [Information Security and Information Protection]. Moscow, DMK Press Publ., 2014, 702 p.
- [20] Maluk A.A. *Informatsionnaya bezopasnost: kontseptualnye i metodologicheskie osnovy zaschity informatsii* [Information security: conceptual and methodological foundations of information protection]. Moscow, Goryachaya liniya — Telekom Publ., 2004, 280 p.

- [21] Chipiga A.F. *Informatsionnaya bezopasnost avtomatizirovannykh sistem* [Information security of automated systems]. Moscow, Gelios ARV Publ., 2017, 336 p.
- [22] Zaitsev M.G. *Metody optimizatsii upravleniya dlya menedzherov: kompyuterno-orientirovanny podkhod* [Methods of management optimization for managers: a computer-based approach]. Moscow, Delo ANKh Publ., 2015, 640 p.
- [23] Zaitsev M.G. *Metody optimizatsii upravleniya i prinyatiya resheniy: primery, zadachi, keysy* [Methods for optimizing management and decision making: examples, tasks, cases]. Moscow, Delo ANKh Publ., 2015, 640 p.
- [24] Zolotarev A.A. *Metody optimizatsii raspredelitelnykh protsessov* [Methods for optimizing distribution processes]. Vologda, Infra-Inzheneriya Publ., 2014, 160 p.
- [25] Halsted M.H. *Elements of Software Science (Operating and Programming Systems Series)*. New York, NY, Elsevier Science Inc. Publ., 1977 [In Russ.: Halsted M.H. *Nachala nauki o programmakh*. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1981, 128 p.].
- [26] Myers G.J. *Software Reliability: Principles and Practices*. New York, Wiley Publ., 1976, 360 p. [In Russ.: Myers G.J. *Nadezhnost programmogo obespecheniya*. Moscow, Mir Publ., 1980, 360 p.].
- [27] Rudakov I.V., Paschenkova A.V. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2013, iss. 6. DOI: 10.18698/2308-6033-2013-6-779
- [28] Ugolnitsky G.A. *Ierarkhicheskoe upravlenie ustoychivym razvitiem* [Hierarchical management of sustainable development]. Moscow, Izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literatury Publ., 2010, 336 p.
- [29] Balasanyan S.Sh. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo instituta. Inginiring georesursov — Bulletin of the Tomsk Polytechnical University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 1, pp. 6–18.

Andreev A.G., Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”. Author of over 70 research publications in the field of reliability of automated control systems.
e-mail: kgv.64@mail.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”. Author of over 70 research publications in the field of reliability of automated control systems.
e-mail: kgv.64@mail.ru

Koryanov V.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, First Deputy Head of the Department of Dynamics and Flight Control of Rockets and Spacecraft, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 40 research publications.
e-mail: vkoryanov@bmstu.ru