

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

УДК 621.452:004.414

Г. Г. КУЛИКОВ, Г. И. ПОГОРЕЛОВ, Ю. О. БАГАЕВА

**СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ АГРЕГАТОВ ГТД
НА ОСНОВЕ МНОГОАСПЕКТНОЙ МОДЕЛИ**

Рассматривается процесс эксплуатации электронных агрегатов ГТД, предлагается концептуальная модель системы их информационной поддержки. Приводятся обоснования представления системы в различных аспектах рассмотрения. Строится прикладная функциональная, ролевая, информационно-справочная модели и модель информационных потоков. Предлагается метод построения электронной эксплуатационной модели изделия. *Жизненный цикл изделия; эксплуатация; информационно-справочная система; прикладная функциональная модель; эксплуатационная модель изделия*

В условиях технического усложнения и повышения наукоемкости изделий авиационной техники – агрегатов (систем), двигателей, средств их контроля, в ситуации роста уровня конкуренции на данном сегменте рынка, а также изменения экономической обстановки в промышленности страны, возникает необходимость в создании специальных средств, методов, моделей, технологий, обеспечивающих выпуск качественной, конкурентоспособной и приносящей прибыль продукции. Проблема приобретает особую актуальность в связи с потребностью обеспечения информационной поддержки изделия на всех этапах жизненного цикла. Динамичное развитие современных информационных технологий требует обоснованных предложений и рекомендаций по их адекватному применению с учетом требований и ограничений данной предметной области.

Объектом данного исследования являются электронные системы управления ГТД, обладающие следующими основными особенностями:

- большая доля интеллектуальной составляющей при разработке изделия;
- изделие требует обязательного гарантийного обслуживания в эксплуатации;
- эксплуатация изделия как этап жизненного цикла занимает десятки лет;

- предъявляются жесткие требования к обеспечению эксплуатационной безопасности;

- в связи с большими задаваемыми сроками гарантийного и общетехнического ресурса подтверждение показателей надежности обеспечивается методом статистики по собранной в результате эксплуатации информации.

Изделие, обладающее вышеперечисленными свойствами, принято называть изделием ответственного назначения [1, 2]. Таким образом, основная цель по его созданию – удовлетворить потребности потребителя, т. е. изделие должно эффективно применяться и использоваться. Конечная цель – эффективная эксплуатация изделия потребителем – должна определять действия предприятия по ее достижению на всех этапах жизненного цикла. Приоритетным направлением деятельности предприятия является объединение взаимосвязанных процессов, ресурсов, регламентов, ролей и т. д. в единую систему, позволяющую осуществить поддержку постпроизводственных стадий жизненного цикла на основе единого информационного пространства. Задачами предприятия, производящего авиационную технику, является не только сопровождение изделия в виде поставок эксплуатационной и ремонтной документации, запасных частей и т. п., но также сбор и фиксация данных о движении и техническом состоянии изделия. Вместе с тем возникает необходимость в организации (в виде обратного воздействия) подтверждения качества и эксплуатационной надежности, а также принятия мер по улучшению своей продукции, исходя из данных, полученных на этапе эксплуатации (рис. 1).

Контактная информация: (347) 272-89-81

Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом № 02.740.11.0764 на выполнение НИР от 12.04.2010 г.

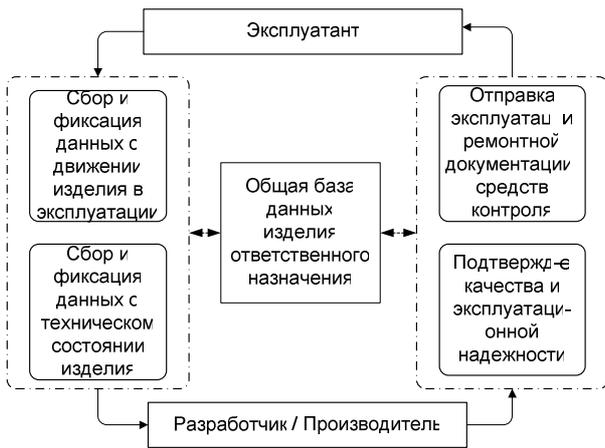


Рис. 1. Контур управления системы информационной поддержки эксплуатации изделия

Концептуальная модель процесса эксплуатации изделия ответственного назначения представлена на рис. 2. В столбцах указаны основные элементы информационной поддержки эксплуатации, такие как авторский надзор, интегрированная логистическая поддержка изделия, управление системой менеджмента качества

ва, внутри столбцов – функции, реализующие выполнение вышеперечисленных процессов.

МНОГОАСПЕКТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Построение системы информационной поддержки эксплуатации изделия ответственного назначения требует от разработчика многоаспектного рассмотрения предметной области. В данной работе предполагается ввести пять аспектов рассмотрения:

- аспект нормативно-справочной информации,
- аспект выполняемых функций,
- аспект взаимодействия ролей,
- аспект представления электронной эксплуатационной модели изделия,
- аспект информационных потоков в системе,
- аспект используемых ресурсов.

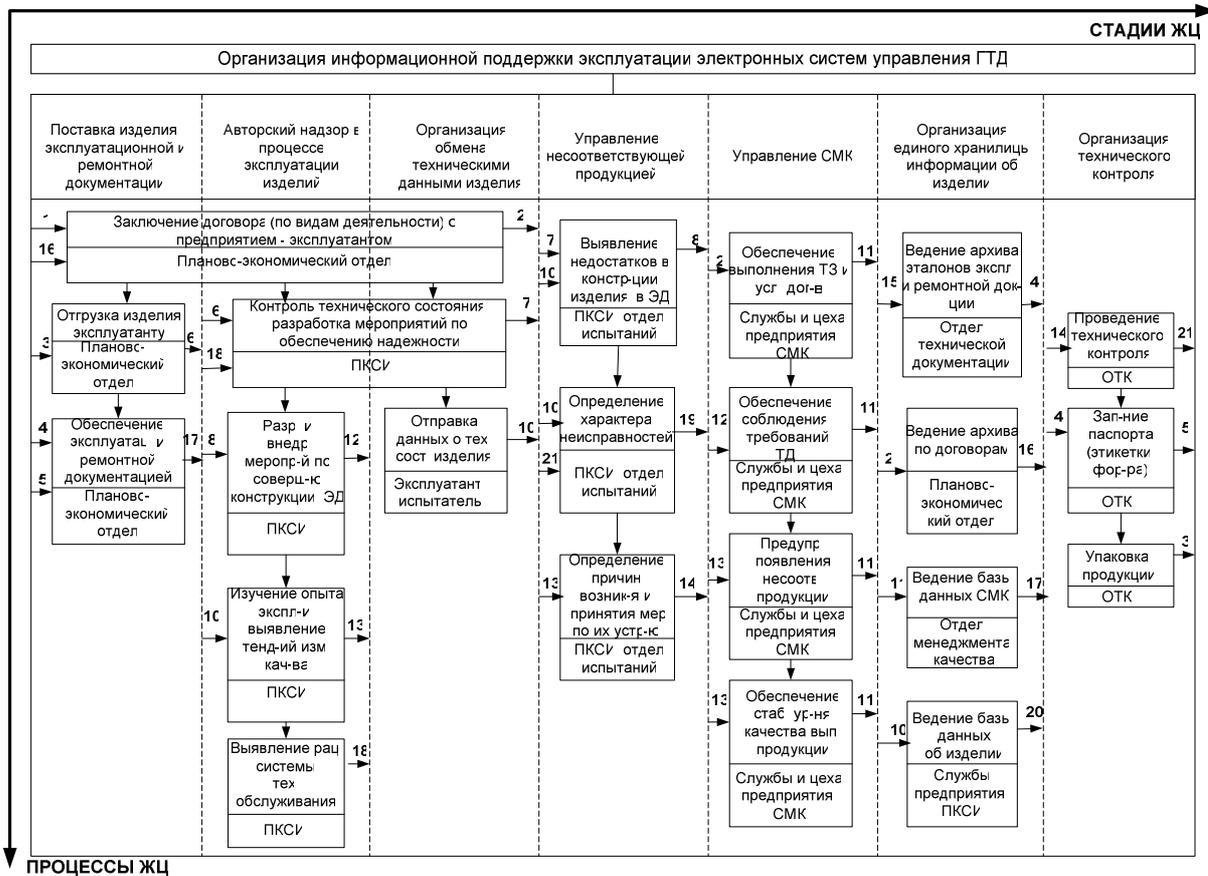


Рис. 2. Концептуальная схема информационной поддержки эксплуатации изделия

На рис. 3 показана схема, иллюстрирующая аспекты представления предметной области, представленные в виде плоскостей с отображением механизмов их взаимодействия.

Таким образом, модель системы информационной поддержки эксплуатации изделия можно рассмотреть как множество, состоящее из следующих подмножеств:

$$M = \langle AN, AF, AR, AS, AFL, ARS, \text{Pred}(\dots) \rangle,$$

где *AN* – подмножество нормативно-справочной информации (совокупность стандартов предприятия, рабочих инструкций, регламентов и т. д.),

AF – подмножество выполняемых в системе функций,

AR – подмножество ролей участников (может быть представлено организационной структурой управления предприятия, а также иной распорядительной документацией, регламентирующей конкретные процессы),

AS – подмножество моделей, описывающих электронную структуру изделия,

AFL – подмножество потоков информации, которые могут быть представлены в виде документов, электронных данных, сообщений,

ARS – подмножество используемых ресурсов,

Pred(...) – предикат, значение которого зависит от наличия взаимодействий между элементами подмножеств:

$$\exists A_i (\text{Pred}(\{A_i\}, \{A_j\}) = \{0;1\}).$$

Pred(...) = 1, если один из элементов множества аспектов представления может быть соотнесен с любым из элементов множества другого аспекта представления предметной области.

Pred(...) = 0, если ни один из элементов множества аспектов представления никаким образом не соотносится с элементом множества другого аспекта представления (т. е. не вызывает взаимодействия, не вызывает появления новых знаний).

Также на рис. 3 стрелками показаны механизмы взаимодействия перечисленных выше срезов рассмотрения, которые связывают аспекты в единое информационное представление предметной области, а именно:

- *AN* связан с *AF* – через функции, регламентируемые стандартами предприятия, рабочими инструкциями и иными нормативно-справочными документами;

- *AN* связан с *AR* – через определенные в нормативной документации области ответст-

венности участника любого процесса, то есть его роли;

- *AN* связан с *AFL* – через содержащиеся в нормативно-справочной системе описания правил согласования документов и других процессов взаимодействия *docflow*;

- *AF* связан с *AR* – через определение ответственных за выполнение каждой функции исполнителей;

- *AR* связан с *AS* – через прикладные функциональные модели;

- *AR* связан с *AFL* – через отношения участников производственного документооборота;

- *AF* связан с *ARS* – через матрицы распределения ресурсов по видам функций;

- *AR* связан с *ARS* – через матрицы распределения организационных ресурсов по типам ролей;

- *AS* связан с *ARS* – через матрицы распределения ресурсов, материалов и комплектующих по номенклатуре производимых изделий;

- *AS* связан с *AFL* – через функции передачи информации об изделии с эксплуатацией.

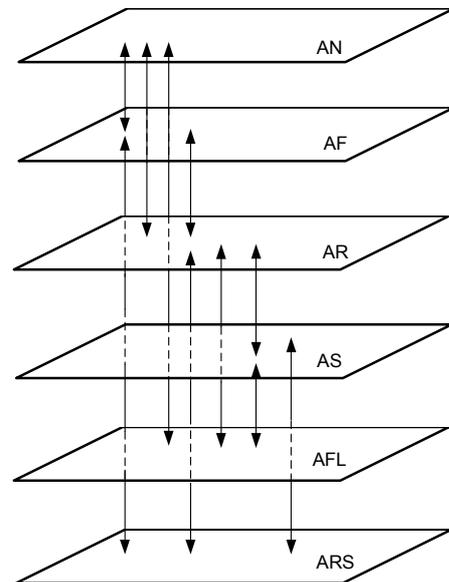


Рис. 3. Схема аспектов представления предметной области

Описанные выше схемы взаимодействия представлены в табл. 1, в ячейках которой – значения предиката *Pred(...)*.

Таблица 1
Схема взаимодействия аспектов представления

| | AN | AF | AR | AS | AFL | ARS |
|-----|----|----|----|----|-----|-----|
| AN | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| AF | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| AR | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| AS | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| AFL | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| ARS | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Как было отмечено ранее, основой информационной поддержки эксплуатации является обеспечение сбора и фиксации данных о движении и техническом состоянии изделия. Для этого используются механизмы идентификации и прослеживаемости продукции.

Согласно [3], прослеживаемость – способность восстановить предысторию использования или местонахождения изделия с помощью регистрируемой идентификации. Термин «прослеживаемость» по отношению к изделию может определять:

- происхождение материалов и комплектующих,
- предысторию производства продукции,
- процесс формирования показателей качества изделия по данным входного, операционного и выходного контроля,
- распределение и местонахождение изделия после поставки и т. д.

Идентификация – процедура, позволяющая однозначно закрепить изделие за определенным документом на этапах жизненного цикла, позволяющая проследить и доказать предысторию создания продукта. Поэтому применительно к процессам эксплуатации использование методов и средств идентификации и прослеживаемости обеспечит использование всех данных изделия, накопленных на предыдущих этапах жизненного цикла.

В качестве примера, доказывающего необходимость обеспечения идентификации и прослеживаемости изделия на этапе эксплуатации, можно привести случай обнаружения несоответствия на данном этапе жизненного цикла и последующее выявление причин его возникновения. В данном случае возникает необходимость восстановить всю информацию об изде-

лии для определения того, что является причиной: несоответствия конструкторской (технологической) документации, производственный брак, несоответствия из-за неправильного использования и т. п.

Как было указано выше, одним из аспектов представления данной предметной области является нормативно-справочный аспект.

В данной работе предлагается рассмотреть принципы построения нормативно-справочной системы поддержки эксплуатации изделия ответственного назначения.

Схематично формирование структуры информационно-справочной системы представлено на рис. 4.

На каждой стадии жизненного цикла изделия идентификация и прослеживаемость обеспечиваются выполнением некоторой совокупности функций/подфункций. На каждой функции/подфункции формируется некоторая совокупность документов (однако содержательная часть таких документов может заполняться, модифицироваться и на соответствующих иным стадиям функциях) и их частей, представленных на схеме как информационный объект. Информационный объект представляет собой совокупность данных, самостоятельную единицу представления информации.

В качестве механизма соотношения элементов представленной иерархии с отдельным элементом совокупности информационно-справочной информации (их частей, глав, параграфов, пунктов, приложений) выступает экспертное заключение ответственного за данный элемент иерархии сотрудника предприятия. Границы области ответственности сотрудника прописаны в должностных инструкциях предприятия. Таким образом, данная информационная структура замыкается также на организационной структуре управления предприятия, поддерживается и используется не только составителем системы, но и сотрудниками предприятия с разными уровнями ответственности. Для того чтобы ориентироваться в информационно-справочном пространстве, в данной работе предлагается принцип позиционирования и навигации, основанный на идентификаторе информационного объекта, то есть занимаемой им позиции. Такие позиции можно подразделить на следующие:

- стадия жизненного цикла S ,
- функция/подфункция F ,
- документ D .

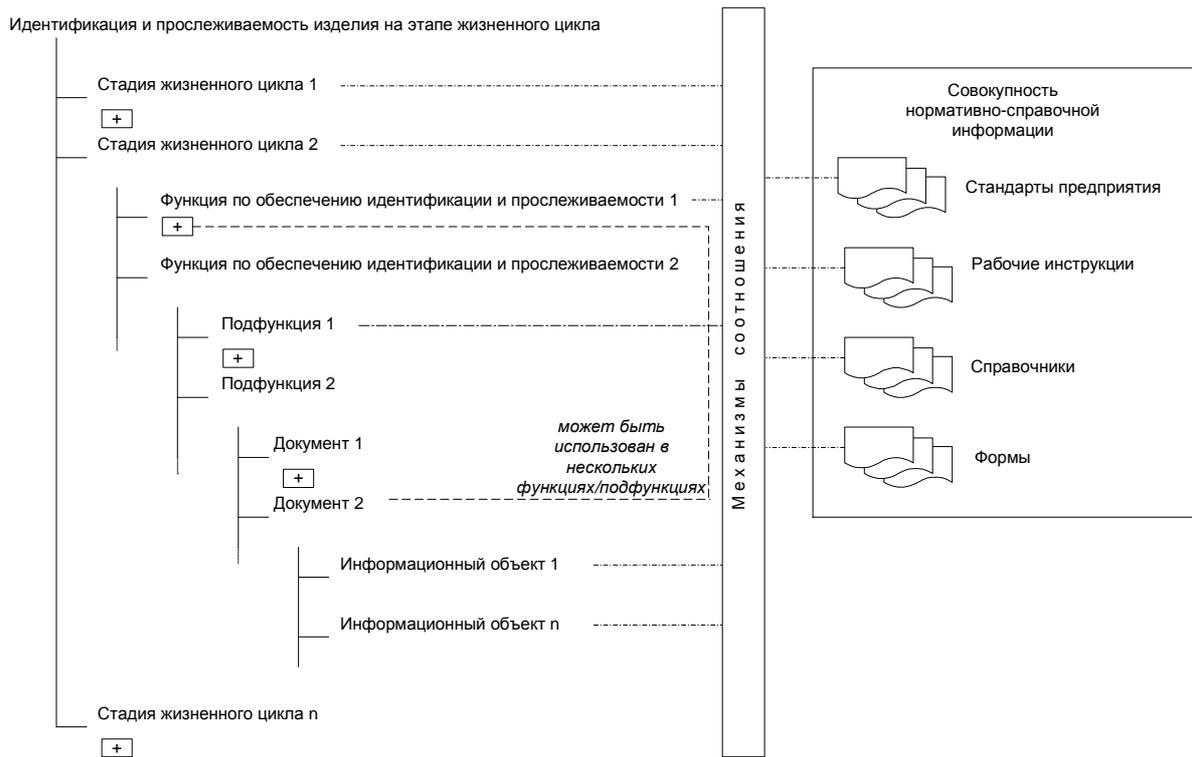


Рис. 4. Структура информационно-справочной системы поддержки эксплуатации изделия

Структура идентификатора объекта (или позиции) представляется на рис. 5.

Исходя из особенностей предметной области исследования количество стадий жизненного цикла изделия ограничено, тогда как количество функций (уровней их декомпозиций), документов (а также их составных частей) по мере модификации модели может варьироваться. Такие изменения могут быть обусловлены изменением нормативной документации, регламентирующей процесс. Структура и содержание системы может изменяться (информация удаляется, добавляется или исправляется).

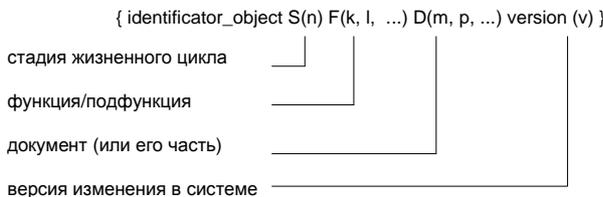


Рис. 5. Схема идентификатора информационного объекта

Учесть такие изменения позволит введение механизма учета версионности (крайний правый элемент схемы на рис. 5). Любой факт изменения (содержания или структуры) должен

порождать новую версию системы и его указания в идентификаторе. На оператора, обслуживающего систему, ложится нагрузка отслеживания изменений в нормативной документации предприятия, а также, используя знания эксперта, своевременной ее модификации. Архивирование всех версий позволит иметь возможность восстановления по запросу предыдущих и последующих состояний системы. Это необходимо, например, для восстановления информации: по какой действующей документации на момент создания было изготовлено изделие (принцип идентификации и прослеживаемости). Данный факт является необходимым, особенно учитывая требования информационной поддержки эксплуатации.

На рис. 6–7 приведен пример информационно-справочной системы поддержки эксплуатации изделия Уфимского научно-производственного предприятия «Молния».

Построение такой системы позволит предприятию идентифицировать процессы выделяемой предметной области, декомпозировать их до уровня элементарной функции / подфункции, установить их принадлежность определенной стадии жизненного цикла изделия, обеспечить справочную поддержку каждого уровня декомпозиции.

Таблица 2

Ролевая модель системы информационной поддержки эксплуатации изделия

| | ДАННЫЕ | ФУНКЦИИ | СВЯЗИ |
|---|---|---|--|
| Предприятие-производитель | Общая база данных изделия | Поддержка изделия в эксплуатации | Каналы связи между производителем и эксплуатантом |
| Подразделение ответственное за конструкторское сопровождение изделия (ПКСИ) | БД тех состояний изделия движения изделия в эксплуатации | Поддержка мероприятий по совершенствованию изделия выявлению недостатков | Авторский надзор за изделием в эксплуатации |
| Планово-экономическая служба | БД по договорной деятельности и внешн кооперации БД движения изделия в эксплуатации | Поддержание функций по ведению договорной деятельности и внешней кооперации | Схема внешней кооперации с контрагентами электронный документооборот |
| Отдел испытаний | База данных по испытаниям | Управление испытаниями | Совместное с подразделениями предприятия управление качеством и несоответствиями |
| Отдел технического контроля | База данных технического контроля | Управление техническим контролем продукции | Проведение технического контроля как звена в цепочке поставки качественной продукции потребителю |
| Отдел технической документации | Архив эталонов КД ПД ЭД ремонтной документации | Поддержание архива технической документации в актуальном состоянии | Обеспечение технической документацией эксплуатацию изделия |
| Подразделение менеджмента качества | База данных СМК | Поддержание качества продукции управление несоответствиями | Совместная кооперация в целях обеспечения выпуска качественной продукции |
| Предприятие-эксплуатант | Общая база данных изделия | Выполнение условий договора условий эксплуатации поддержание гарантийных обязательств | Каналы связи между производителем и эксплуатантом |

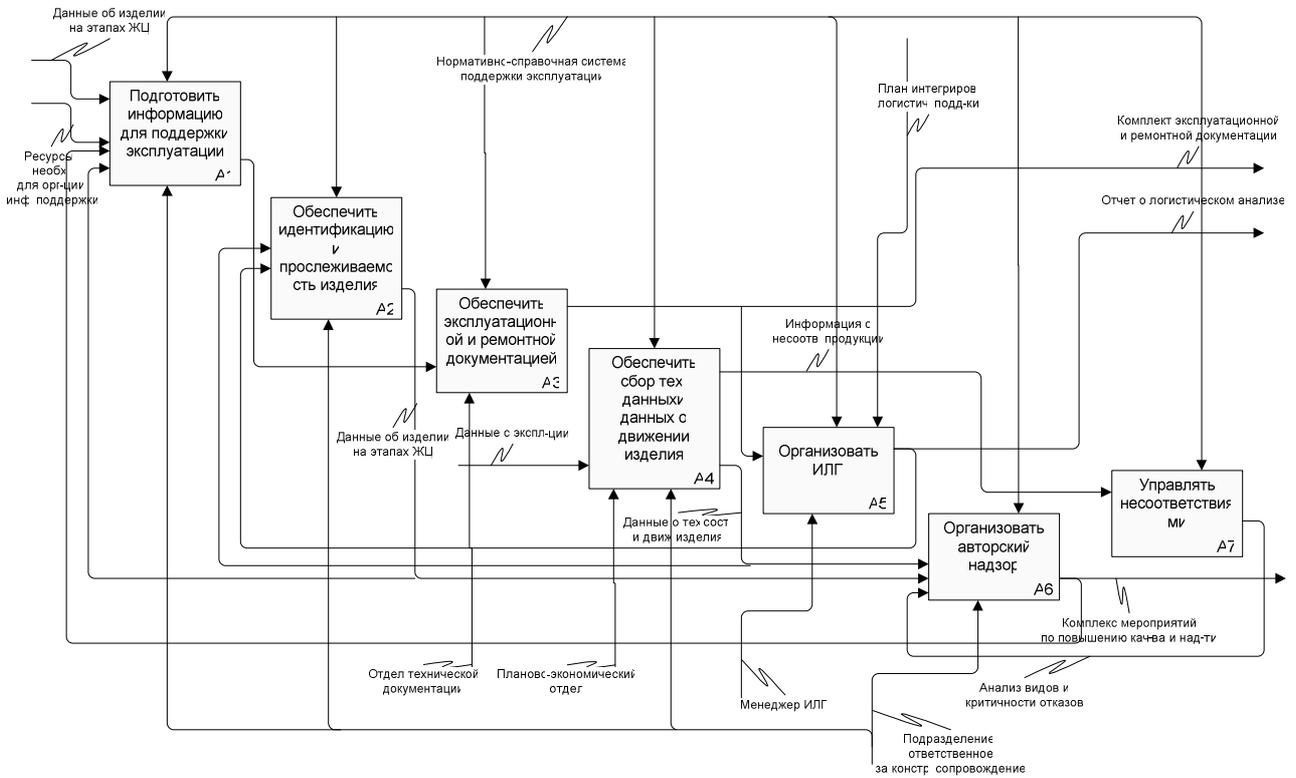


Рис. 8. Прикладная функциональная модель системы информационной поддержки эксплуатации изделия

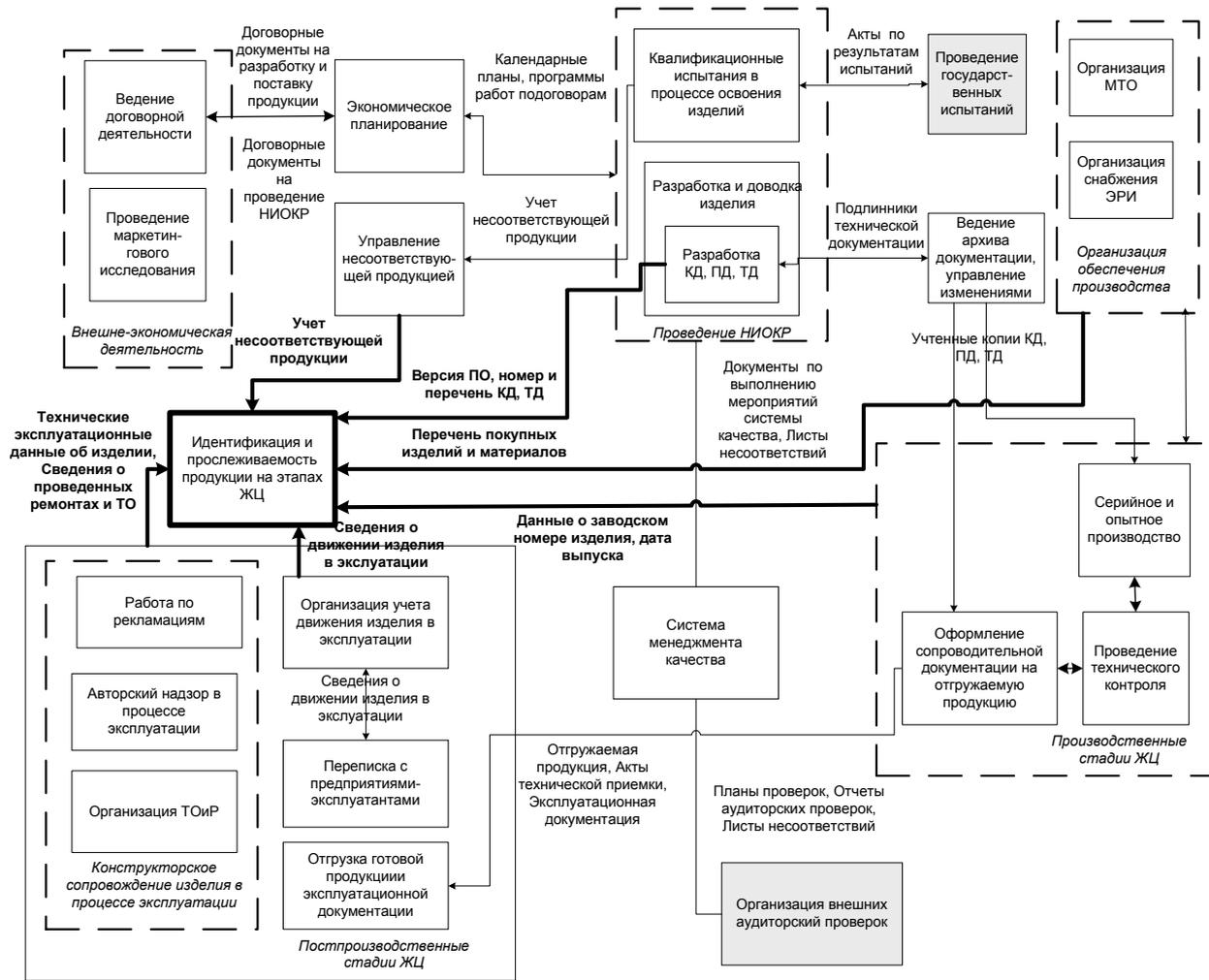


Рис. 9. Модель информационных потоков в аспекте идентификации и прослеживаемости изделия

Таким образом, семантическое представление архитектуры системы формируется по правилу:

$$Y_i \in Y, A_{ij} \in A;$$

$$Y_i \overset{\Phi}{\cap} A_j \rightarrow \{C_{ij} | C_{ij} \in C\},$$

где $\overset{\Phi}{\cap}$ – отношение между множеством Y и множеством A , приводящее к формированию $\overset{\Phi}{\cap}$ (правило \rightarrow формирования точек зрения, при пересечении точек зрения и аспектов) множества представлений C .

Для проектирования множества семантических представлений любого из процессов деятельности организации (областей деятельности) необходимо произвести декомпозицию представления общей архитектуры предприятия, тогда во множество семантических представлений C входит подмножество C' , где $C'_{ij} \in C'$, которое формируется аналогичным образом из элементов вида $Y'_i \in Y'$ и $A'_j \in A'$.

Таким образом, новое множество семантических представлений может иметь новые аспекты и точки зрения нового качества, отличающиеся также и количеством входящих в него элементов.

Цель построения прикладной функциональной модели – описание предметной области в терминах процессов и потоков. Функциональная модель информационной поддержки эксплуатации изделия представлена на рис. 8.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРОЦЕССА В АСПЕКТЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ

Согласно описанной ранее концепции, интеграция и совместное участие подразделения предприятия и внешних контрагентов в едином информационном пространстве обеспечит максимально эффективное функционирование системы поддержки эксплуатации изделия ответственного назначения. Аспект формирования информационных потоков на схеме – иденти-

фикация и прослеживаемость продукции на этапах жизненного цикла.

Согласно проведенной классификации стадий ЖЦ и относящихся к ним функций, покажем на схеме, каким образом формируется информация об изделии, используемая на этапах эксплуатации – рис. 9.

ЭЛЕКТРОННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИЗДЕЛИЯ

Согласно [5], в компьютерной среде электронная модель изделия представляется в виде набора данных, которые вместе определяют геометрию изделия и иные свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия. Информация об изделии может быть использована во многих вычислительных системах, включая системы, расположенные в различных организациях. Для обеспечения этого организациям необходимо иметь возможность представлять информацию о своем изделии в едином машинно-ориентированном формате, от которого требуется сохранение полноты и совместимости информации при обмене между различными вычислительными системами [6].

Информационная интеграция состоит в том, что все автоматизированные системы, применяемые на различных стадиях жизненного цикла, оперируют не традиционными документами и даже не их электронными отображениями (например, отсканированными чертежами), а формализованными информационными моделями, описывающими изделие, технологии его производства и использования. По мере необходимости прикладные системы, которым для их работы нужны те или иные информационные объекты, могут извлекать их из информационной среды, обрабатывать, создавая новые объекты, и помещать результаты своей работы в ту же информационную среду [9]. В данной статье предлагается для построения электронных эксплуатационных моделей изделия использовать стандарты STEP (Standard for Exchange of Product Data – стандарт для обмена данными о промышленных изделиях), регламентирующие единообразное описание и интерпретацию данных, независимо от времени и места их получения.

Часть STEP-стандартов посвящена способам формирования электронной модели изделия посредством специально разработанного объектно-ориентированного языка ЭКСПРЕСС (EXPRESS) [7], основанного на синтаксической

нотации Вирта [8], а также его графического представления EXPRESS-G.

Электронная эксплуатационная модель будет представлена в виде взаимосвязанного набора данных, необходимого для эффективной эксплуатации изделия. Такими данными могут быть следующие:

- идентификационные данные,
- геометрические данные,
- данные по управлению изменениями,
- конструкторско-технологические данные,
- производственные данные,
- данные сертификации и качества,
- логистические данные,
- данные тех. контроля и испытаний,
- данные потоков работ и заданий,
- эксплуатационные данные и т. д.

Для построения модели изделия, используя нотацию, представленную в STEP-стандартах, за основу представления данных об изделии берется понятие интегрированный ресурс описания изделия [6]. Каждый интегрированный ресурс состоит из набора описаний данных об изделии на языке EXPRESS, называемых структурами (англ. schema) ресурсов. Для каждого перечисленного выше типа данных необходимо построить одну или совокупность взаимосвязанных схем. Для иллюстрации идеи представим упрощенную схему интегрированного ресурса на рис. 10.

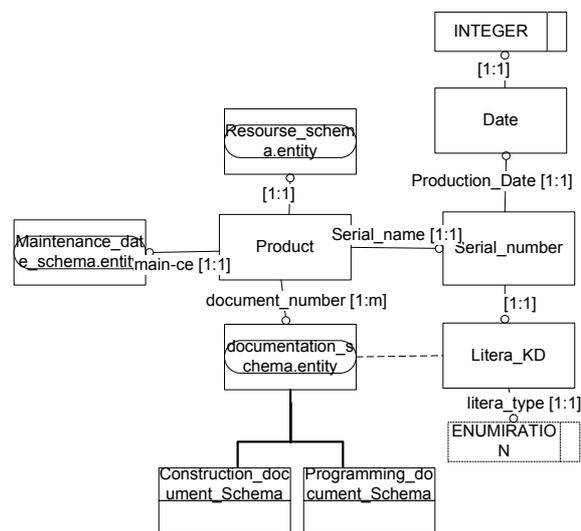


Рис. 10. Упрощенная схема ресурса identification_schema

Цель построения схемы ресурса identification_schema – представить структуру и взаимосвязи идентификационных данных об изделии. Такими данными могут быть (на примере упрощенной схемы) серийный номер изделия,

данные о ресурсах, данные о документации, по которой изготовлено изделие и т. д.

Сформированная по такому принципу электронная эксплуатационная модель изделия позволяет:

- идентифицировать изделие на любом этапе эксплуатации, проследить за его движением,
- получать эксплуатационные данные в едином представлении,
- обеспечить информационную поддержку всех задач данного этапа жизненного цикла (авторский надзор, интегрированная логистическая поддержка, управление качеством).

ВЫВОДЫ

1. Исходя из перечисленных предпосылок создания системы информационной поддержки эксплуатации изделия ответственного назначения, стоит задача создания комплекса системных моделей, позволяющих адекватно формализовать данную предметную область.

2. Комплексное многоаспектное представление системы позволяет обеспечить необходимое и достаточное (учитывая поставленные цели моделирования) отображение реальных процессов и сформировать идеи по их улучшению.

3. Модели выбранных аспектов представления не противоречат, а дополняют друг друга, создавая единое информационное пространство для реализации системы информационной поддержки эксплуатации изделия ответственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Багаева Ю. О.** Построение архитектуры информационной системы приборостроительного предприятия // IV Всероссийск. науч.-техн. конф. молодых специалистов, посвященная 83 годовщине образования УМПО: сб. материалов. Уфа: УГАТУ, 2008. С. 115–117.

2. **Bagaeva Yu. O.** Some features of business architecture construction at research-and-production enterprise // The 10th Int. Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2008). Antalya, Turkey, 2008.

3. **ГОСТ Р 50.1.031-2001.** Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Ч. 1. Стадии жизненного цикла продукции.

4. **Zachman John A.** Framework for Information System Architecture. IBM System Journal. 1987. Vol. 26, no. 3.

5. **ГОСТ 2.052-2006.** Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

6. **ГОСТ Р ИСО 10303-1-1999.** Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы.

7. **ГОСТ Р ИСО 10303-11-2000.** Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Ч. 11. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS.

8. **Вирт Н.** Алгоритмы + структуры данных = программы: Моногр. М.: Мир, 1985. 406 с.

9. Информационная поддержка этапа технической эксплуатации в жизненном цикле изделий авиационного / Ю. В. Киселев [и др] // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. 2007. Т. 1. С. 236–246.

ОБ АВТОРАХ



Куликов Геннадий Григорьевич, зав. каф. автоматизир. систем управления. Дипл. инж. по автоматизации машиностроения (УАИ, 1971). Д-р техн. наук по системн. анализу, автоматич. упр-ю и тепл. двиг. (УАИ, 1989). Иссл. в обл. АСУ, системн. моделир., упр-я проектами.



Погорелов Григорий Иванович, зам. ген. дир. ФГУП УНПП «Молния». Дипл. инженер по электр. машинам и аппаратам (УАИ, 1977). Канд. техн. наук по автоматизации технологическ. процессов и производств (УГАТУ, 2002). Иссл. в обл. автоматич. и автоматизир. систем измерений и управления.



Багаева Юлия Олеговна, асп. каф. автоматизир. систем управления. Дипл. спец. по прикладной информатике в экономике (УГАТУ, 2006). Иссл. в обл. инф. поддержки жизненного цикла изделия.