

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ,  
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ

УДК 004.9: 629.78 DOI 10.30894/issn2409-0239.2018.5.2.65.72

## Концепция построения экспертно-диагностического комплекса для анализа информационных систем

**В. В. Бетанов**, *д. т. н., проф.*, [betanov\\_vv@spacecorp.ru](mailto:betanov_vv@spacecorp.ru)

*АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация*

**В. К. Ларин**, *к. т. н.*, [contact@spacecorp.ru](mailto:contact@spacecorp.ru)

*АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация*

**Аннотация.** В статье рассмотрена концепция построения экспертно-диагностического комплекса (ЭДК) для анализа функционирования информационных систем (ИС). Проанализировано современное состояние вопроса, заключающееся в разработке экспертно-диагностической системы (ЭДС) для анализа и устранения сбоев в работе каждого единичного блока ИС. Это предусматривало разработку соответствующей базы знаний и остальных частей ЭДС, таких как базы данных, рабочая область, решатель. Все это приводило к значительным материальным и техническим затратам, усложняя вопрос эксплуатации соответствующего программного обеспечения. Предлагаемое объединение однопрофильных ЭДС в экспертно-диагностический комплекс с включением мониторинга адресации сбоя с помощью диагностических меток позволит значительно упростить работу пользователя без больших затрат на создание продукта. При этом конструкция ЭДК принципиально отличается от ЭДС наличием нескольких баз знаний и надстройкой в виде интерфейса для удобства работы пользователя. В статье приводится технология построения ЭДК, включающего несколько однопрофильных баз знаний. Рассмотрен пример построения ЭДК.

**Ключевые слова:** предметная область, концепт, экспертно-диагностический комплекс, диагностические метки

## The Concept of Building of an Expert-Diagnostic Complex for the Analysis of Information Systems

**V. V. Betanov**, *Dr. Sci. (Engineering), Prof.*, [betanov\\_vv@spacecorp.ru](mailto:betanov_vv@spacecorp.ru)

*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**V. K. Larin**, *Cand. Sci. (Engineering)*, [contact@spacecorp.ru](mailto:contact@spacecorp.ru)

*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The article considers the concept of an expert-diagnostic complex (EDC) for analyzing the operation of information systems (IS). A current state of the problem regarding the development of an expert-diagnostic system (EDS) for the analysis and failure recovery in the work of each unit of IS is studied. The study included the development of an appropriate knowledge database and other parts of EDS, such as a database, operation area, and solver. All these led to significant material and technical costs, complicating the issue of the correspondent software performance. The proposed integration of single-profile EDS in EDC including the monitoring of failure addressing using diagnostic labels will greatly simplify the user's work without large expenditures on product creation. The EDC design differs from that of EDS by the presence of several knowledge databases and an add-in in the form of the interface for convenience of the user. The article presents the technology of EDC building including several single-profile knowledge databases. An example of the building of EDC is given.

**Keywords:** subject area, concept, expert-diagnostic complex, diagnostic labels

## Введение

Использование ЭДС для решения неформализованных задач в различных областях народного хозяйства находит в настоящее время широкое применение. Эффективность такого применения зависит от отношения приносимой пользы и затрат на создание, внедрение и эксплуатацию данного инструмента. Следует отметить, что ЭДС применяется для решения проблем в узкой предметной области вследствие определенных ограничений, накладываемых на конструктивные элементы системы. Особенно это относится к центральному органу ЭДС — базе знаний, диапазон использования которой зависит от накопленного опыта по данным вопросам и его интерпретации продукционной моделью. Поэтому для полноценного экспертного обслуживания сложных систем необходимо параллельное использование нескольких ЭДС с соответствующим программно-аппаратным обеспечением. Все это снижает эффективность использования ЭДС для сложных систем. Выходом из создавшейся ситуации является эффективное обслуживание сложных систем с применением экспертных оценок, а именно разработка и внедрение экспертно-диагностических комплексов (ЭДК), построенных на базе отдельных элементов однопрофильных ЭДС. Причем принципиально конструкция ЭДК отличается от ЭДС наличием нескольких баз знаний, описывающих ситуацию в выбранной системе, и надстройкой в виде управляющей программы для формирования технологической цепочки активации соответствующих блоков программы.

В данной статье приводится концептуальное описание ЭДК применительно к оценке функционирования ИС. В качестве примера использования ЭДК рассмотрен АКП БНО. Выбор этой системы обусловлен следующими причинами:

- достаточной сложностью составляющих видов обеспечения БНО, что оправдывает целесообразность применения ЭДК;
- наличием разработок ЭДС для анализа проблемных вопросов, возникающих в некоторых концептах БНО;
- БНО — наиболее исследованная (для авто-ров) аппаратно-программная система с точки зрения проблем функционирования.

В статье используются следующие понятия.

**Баллистико-навигационное обеспечение (БНО)** — совокупность аппаратно-программных компонентов и технологий для получения баллистической информации, необходимой для управления полетом КА.

**БЗ ПРО** — база знаний программы предварительной обработки траекторной информации.

**Предметная область (ПДОБЛ)** — совокупность связанных между собой элементов, с помощью которых достигается выполнение поставленной задачи.

**Объект** — любой элемент системы.

**Свойство объекта** — некоторая величина, которая характеризует состояние объекта в любой момент времени.

**Концепт** (от лат. *conceptus* — мысль, понятие) — составная часть предметной области.

**Информационные параметры** — характеристики концепта, отклонение от которых может привести к сбою системы.

**Диагностика** — выявление сбоев в функционировании объекта посредством сравнения текущих значений его параметров с нормальными значениями.

**ЭДС** — экспертно-диагностическая система; предназначается для решения проблемных вопросов, возникающих при эксплуатации отдельных частей информационных систем.

**ЭДК** — экспертно-диагностический комплекс; предназначается для решения проблемных вопросов, возникающих при эксплуатации информационных систем.

ЭДК отличается от ЭДС следующими признаками:

- наличием нескольких БЗ;
- наличием программы настройки комплекса для решения профильной задачи;
- наличием блока анализа проблемы и выбора алгоритма решения.

**АКП** — автоматизированный комплекс программ.

**ПМО** — программное математическое обеспечение.

**ИТНП** — измерения траекторных навигационных параметров.

**ОМП** — определение местоположения.

## Предпосылки построения ЭДК

Проектируемая ЭДК должна удовлетворять следующим условиям:

1. Рассматриваемая система должна быть представлена в виде иерархической структуры.

2. Для дальнейшего построения ЭДК система должна быть разделена на функциональные части, соответствующие последнему уровню иерархии.

3. В процессе работы системы необходимо проведение мониторинга с помощью специальных меток, характеризующих работу ее частей, по заполнению которых формируется выходной сигнал, включающий технологический цикл ЭДК.

4. Составляющие части выбранного уровня должны быть описаны в виде предметных областей.

5. Каждая предметная область должна быть представлена в виде совокупности концептов с описанием информационных параметров.

6. В рамках каждой предметной области должна быть сформирована соответствующая база знаний с возможностью подключения в контур ЭДС, элементы которой должны быть предусмотрены в данной структуре.

## Описание блоков структурной схемы ЭДК

Представленная на рис. 1 схема ЭДК состоит из двух частей: 1 — информационной системы как источника информации (включает систему мониторинга, формирующую выходной сигнал в случае сбоя в работе ИС) и 2 — ЭДК как инструмента для обработки этой информации.

ЭДК состоит из следующих компонентов:

– блок анализа ИС. Функцией блока является анализ характеристик выходного сигнала с целью выбора соответствующей БЗ. В блок анализа ИС входят описания ПДОБЛ, характеризующие основные части ИС. С учетом этого в ЭДК сформированы БЗ, соответствующие составу и количеству предметных областей.

Наиболее затруднительным в контексте данного пункта является выбор ПДОБЛ, соответствующих основным частям системы. Для выяснения данного вопроса рассмотрим типовую схему ИС (рис. 2).

Выбор основных частей ИС аналогичен выбору уровня детализации структуры ИС, определяемого автономно функционирующими блоками. В данном случае 3-й уровень состоит из блоков, функционирование которых не зависит от специфики ИС. Для каждого блока 3-го уровня может быть определен набор информационных параметров, характеризующих устойчивость его работы, а соответственно, сформированы продукционные модели для заполнения баз знаний.

В состав ЭДК входят БЗ (1...N), содержащие формализованный опыт эксплуатации подобных ИС. На основании выбранной ПДОБЛ определяется БЗ по правилу «индекс ПДОБЛ должен совпадать с индексом БЗ-ПДОБЛ<sub>к</sub>-БЗ<sub>к</sub>», которая используется в дальнейшем решении задачи по схеме ЭДС-К (рис. 1). Подробное описание блоков ЭДС приводится в [1].

В качестве примера рассмотрим построение ЭДК для АКП БНО.

На рис. 3 представлена схема БНО, на которой АКП располагается на 2-м уровне в виде составной части ПМО.

Для дальнейшего рассмотрения вопроса представим структурную схему АКП (рис. 4).

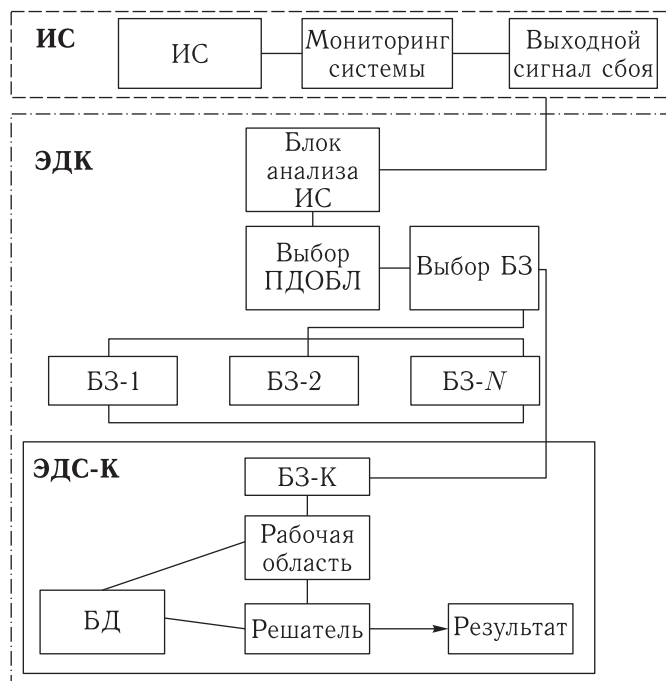


Рис. 1. Структурная схема ЭДК



Рис. 2. Типовая схема ИС

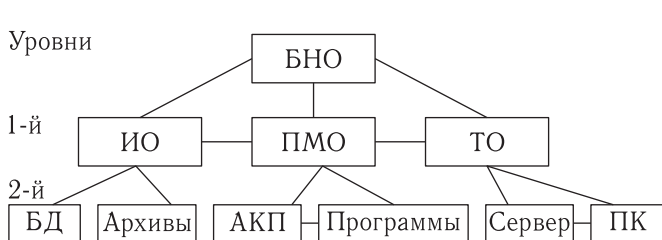


Рис. 3. Схема БНО

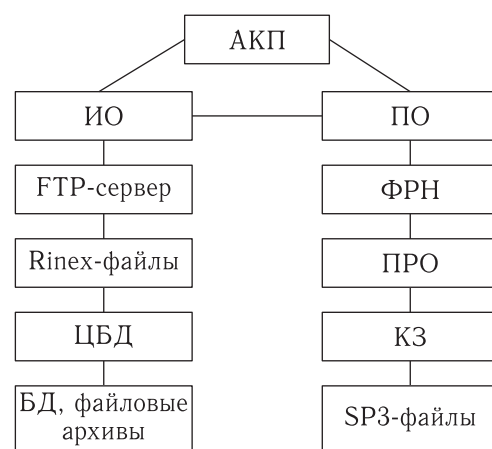


Рис. 4. Схема АКП

Каждый блок АКП представляет собой некоторую обособленную подсистему, не зависящую от специфики входных параметров, и может быть рассмотрен как объект отдельного анализа с использованием ЭДС. Соответственно для каждого блока должна быть разработана своя БЗ.

В частности, в работах [2, 4, 5] приводится описание прототипов ЭДС для анализа и коррекции сбоев, возникающих в процессе функционирования АКП. А именно, «ЭДС поиска и коррекции скачков в безразностных фазовых измерениях» — один из разделов блока ПРО, «база знаний для программного модуля определения местоположения приемника» — раздел КЗ, «ЭДС анализа траекторной измерительной информации» — раздел ПРО.

В нормальном режиме (при отсутствии сбоев) результатом функционирования АКП являются уточненные параметры орбиты, сохраненные в соответствующих таблицах БД и файловых архивах. Кроме того, имеются промежуточные результаты: сформированные сеансы ИТНП (до и после фильтрации), сеансы разностных измерений, результаты и статистика ОМП и т. д.

ИО — информационное обеспечение;  
 ПО — программное обеспечение;  
 FTP-сервер — web-сайт с измерительной информацией;  
 ФРН — программа формирования рабочих настроек комплекса;  
 Ripex-файлы — траекторная измерительная информация;  
 ПРО — программа предварительной обработки траекторной информации;  
 ЦБД — центральная база данных;  
 КЗ — краевая задача (программа определения параметров орбиты);  
 БД, файловые архивы — хранилища текущей информации;  
 SP3-файлы — параметры орбиты в общепринятом формате

В случае сбоя работа АКП либо останавливается (вариант А), либо продолжается с неудовлетворительным качеством результатов (вариант В). Для успешного устранения сбоя представляется

целесообразным сначала определить, к какому из составляющих элементов АКП он относится, после чего можно переходить к анализу причин его возникновения и его устранению.

Далее будут рассмотрены принципы построения ЭДК–ПРО для анализа функционирования части АКП–ПРО (вариант А).

Технологический цикл построения ЭДК–ПРО состоит из следующих этапов:

1-й этап. Определение уровня детализации иерархической структуры ИС. В соответствии с анализом структур БНО и АКП (рис. 3, 4) первоначально был установлен 2-й уровень БНО, в пределах которого для дальнейшей работы выбран АКП.

2-й этап. Разделение выбранной системы на функционально независимые части. (рис. 4) до определенного уровня детализации.

3-й этап. Построение предметных областей соответствующих частей.

4-й этап. Определение адреса сбоя (наименование соответствующего блока АКП, в частности ПРО).

Для определения места сбоя введем *диагностические метки*, представляющие собой поименованные ячейки, зафиксированные в конце каждой подпрограммы и имеющие значения 0 или 1. «1» соответствует проведению расчетов данной подпрограммой, «0» — остановка расчетов данной подпрограммы (подпрограмма — функционально законченная часть общей программы, имеющая входные и выходные данные).

5-й этап. Формирование БЗ, соответствующих предметным областям. Технология заполнения БЗ заключается в последовательном выполнении операций: построение ПДОБЛ, определение концептов, установление информационных параметров и их конкретных значений, формирование продукционной модели — БЗ.

6-й этап. Подключение БЗ в технологическую схему ЭДС для анализа и коррекции конкретного сбоя.

В качестве примера рассмотрим поэтапное формирование БЗ для блока ПРО, опуская 1-й и 2-й этапы (рис. 3, 4)

Предметную область ПРО составляют:

– траекторная измерительная информация (ТИЗ).

Подпрограммы:

- формирование сеансов измерений;
- обработка и фильтрация сеансов измерений;
- формирование наборов базовых линий;
- формирование разностных измерений;
- фильтрация сеансов разностных измерений;
- ОМП по кодовым измерениям дальности;
- статистическая оценка результатов МО.

Для удобства дальнейшей работы сгруппируем

концепты следующим образом.

1-я группа — ТИЗ:

- траекторные измерения;
- формирование сеансов измерений;
- обработка и фильтрация сеансов измерений.

2-я группа — разностные ТИЗ (РТИЗ):

- формирование наборов базовых линий;
- формирование разностных измерений;
- фильтрация сеансов разностных измерений.

3-я группа — ОМП:

- ОМП по кодовым измерениям дальности;
- статистическая оценка результатов МО.

Группа ТИЗ характеризуется следующими информационными параметрами (ИП):

- номинальное количество измерений для формирования сеанса;
- измерения, полученные при зашумленном сигнале;
- предельные ошибки координат приемных станций;
- критические значения величин «скачков» фазовых циклов;
- пороговые значения фильтрации измерений.

Группа РТИЗ характеризуется следующими информационными параметрами:

- предельные значения базисных линий;
- номинальные настройки формирования разностей;
- номинальные настройки разрядки измерений;
- коэффициент согласования настроек разрядки измерений и формирования разностей.

Так как параметры 3-й группы ОМП не оказывают непосредственного влияния на процесс решения рассматриваемого блока, а являются информацией о качестве общего решения, в данном контексте далее не рассматриваются.

Следующим этапом является создание продукционной модели знаний.

Т а б л и ц а. Описание реакции  $F_i$ 

Группа ИП	$V_i$	Реакция $F_i$
1	$V_{11}$	Сеансы, количество измерений которых меньше номинального значения, исключаются из обработки
	$V_{12}$	Измерения, полученные при $\gamma \leq 70$ , исключаются из обработки
	$V_{13}$	Приемные станции, ошибки координат которых превышают предельные значения, в обработке не участвуют
	$V_{14}$	Фазовые измерения с критическими значениями скачков, из обработки исключаются
	$V_{15}$	Измерения, не вошедшие в пороговые значения фильтрации, в обработку не входят
2	$V_{21}$	Базисные линии, длина которых отлична от установленного номинала, из дальнейшего решения исключаются
	$V_{22}$	Разности фаз, настройки которых отличны от номинала, из обработки исключаются
	$V_{23}$	При несоответствии текущей разрядке измерений номиналу соответствующий диапазон измерений из обработки исключается
	$V_{24}$	При значении коэффициента согласования настроек разрядки и формирования разностей менее заданного, измерения данного диапазона исключаются

Производственная модель (ПМ) — модель, основанная на правилах, позволяет представить знания в виде предложений типа «если (условие), то (действие)». В данном случае основным элементом производственной модели являются информационные параметры 1-й и 2-й групп.

Для удобства введем обозначения: ИП 1-й группы —  $V_{1i}$ , 2-й группы —  $V_{2i}$ .

Тогда условия анализа данных производственной модели можно записать в виде

А. Если  $V_T = V_{1i}$ , то 0.

В. Если  $V_T \neq V_{1i}$ , то  $F_{1i}$ ,

где  $V_T$  — текущее значение ИП,  $F_{1i}$  — реакция на несоответствие текущего и контрольного значения ИП, что означает наличие сбоя, «0» соответствует нормальному решению, реакция  $F_i$  отсутствует.

Указанные действия аналогичны и для 2-й группы ИП с учетом изменения индекса «1i» на «2i».

В таблице приведены описания действий (реакций ЭДС —  $F_i$ ) для условия В.

Следующий этап — формирование БЗ.

Основной частью БЗ являются производственные правила. Они необходимы для формирования реакций при возникновении нестандартных ситуаций

в процессе функционирования АКП. Информационной основой для формирования БЗ ПРО являются условия «А» и «В», а также формулировки реакции  $F_i$ , приведенные в таблице. Таким образом, БЗ ПРО содержит две группы производственных правил: ТИЗ и РТИЗ и может функционировать в составе ЭДК АКП БНО совместно с другими БЗ [2, 4, 5].

По аналогии с предыдущим описанием могут быть построены БЗ ФРН и БЗ КЗ.

С учетом вышесказанного, а также предыдущих разработок авторов в части построения ЭДС [2, 4, 5] приведем общую схему ЭДК программного обеспечения АКП БНО (рис. 5).

Условные обозначения на рис. 5:

ПО АКП — программное обеспечение АКП;  
ФРН, ПРО, КЗ, SPЗ — составные части АКП (см. рис. 4);

Анализ работы программ — блок фиксации и определения адреса «сбоя» работы АКП по значениям диагностических меток;

Сочетание ДМ «1,1» соответствует нормальному выполнению текущей подпрограммы;

Сочетание ДМ «1,0» соответствует сбою решения в текущей подпрограмме.

Следует заметить, что перед запуском программы на решение все диагностические метки заполня-

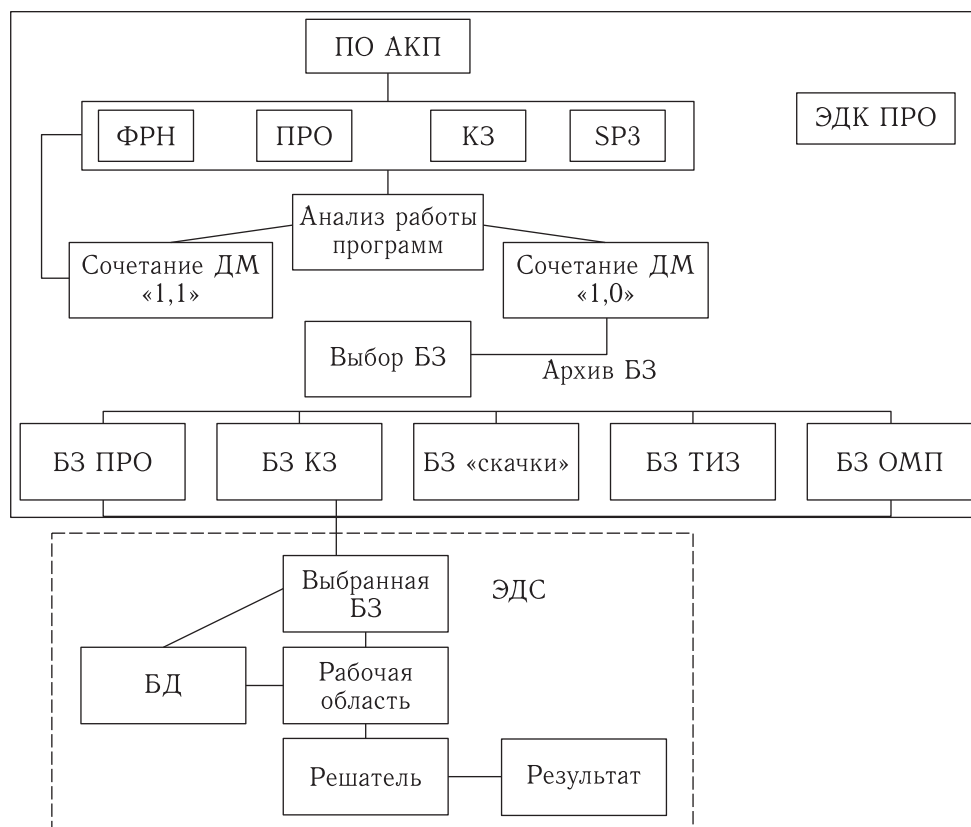


Рис. 5. Общая схема ЭДК ПРО

ются значением «1,0». При нормальном выполнении текущей подпрограммы «0» заменяется на «1».

Выбор БЗ — выбор БЗ осуществляется по адресу «сбоя», определенного с помощью идентификатора условных наименований ДМ и названий подпрограмм, таблица которого находится в теле данного блока.

Архив БЗ:

БЗ ПРО — база знаний предварительной обработки (описание приводится в данной статье);

БЗ КЗ — база знаний краевой задачи (не разработана);

БЗ «скачки» — база знаний определения и корректировки скачков фазовых измерений (разработана, приведена в [4]);

БЗ ТИЗ — база знаний анализа траекторных измерений (разработана, приведена в [5]);

БЗ ОМП — база знаний определения местоположения (разработана, приведена в [2]).

Выбранная БЗ — выбранная из архива БЗ, соответствующая идентификатору ДМ.

Стандартные блоки ЭДС:

БД, рабочая область, решатель, описание которых приводится в [1].

## Заключение

На основании материалов, приведенных в данной статье, можно сделать следующие выводы.

1. Разработана концепция технологии построения экспертно-диагностических комплексов анализа работы ИС, позволяющая создавать экспертные системы для нескольких предметных областей значительно расширяющие возможности анализа систем по сравнению с ЭДС.

2. Замена нескольких ЭДС комплексом позволит значительно ускорить решение проблемных вопросов эксплуатации ИС, а также сократить время и ресурсы на разработку соответствующего программного обеспечения.

3. Предлагаемая процедура поиска и адресации «сбоев» с помощью диагностических меток

позволяет оперативно определять аварийную подпрограмму и сформировать реакцию на блокирование создавшейся ситуации.

4. Рассмотренная технология построения БЗ для блока АКП «предварительная обработка» может использоваться для формирования БЗ других блоков АКП, значительно сокращая время на разработку систем анализа всего комплекса.

5. Разработка и внедрение ЭДК на основе БЗ существующих ЭДС позволит более эффективно решать проблемы, возникающие в процессе работы ИС.

## Список литературы

1. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2000.
2. *Бетанов В.В., Ларин В.К., Позяева З.А.* База знаний для программного модуля определения местоположения приемника // Сб. статей ИТМиВТ им. С. А. Лебедева РАН, 2015. 125–135.
3. *Бетанов В.В., Ларин В.К., Позяева З.А.* К вопросу анализа причин возникновения сбоев в АКП // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2014, т. 1, вып. 1. С. 55–60.
4. *Бетанов В.В., Ларин В.К., Позяева З.А.* Прототип экспертно-диагностической системы поиска и коррекции скачков безразностных фазовых измерений // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2014, т. 1, вып. 3. С. 73–81.
5. *Ларин В.К.* Построение прототипа экспертно-диагностической системы анализа траекторной измерительной информации КА // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, вып. 1. С. 53–60.