

КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИХ СИСТЕМ

CONTROL AND TESTING AIRCRAFT AND THEIR SYSTEMS

УДК 629.7.01:519.24

doi:10.21685/2307-5538-2022-3-15

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ

И. Г. Иванов¹, С. В. Морозов², М. Л. Белокопытов³

¹ Главный испытательный космический центр МО РФ имени Г. С. Титова, Краснознаменск, Россия

² 15-я армия Воздушно-космических сил особого назначения, Краснознаменск, Россия

³ Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

¹igorivanov-90@yandex.ru, ²serj090@yandex.ru, ³hommer1990@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Объектом исследования являются процессы разработки, испытаний и применения по назначению существующих и перспективных космических средств. Предметом исследования являются способы повышения качества функционирования автоматизированных систем управления при проведении государственных испытаний образцов космических средств. Целью работы является разработка системы поддержки принятия решений, позволяющей автоматизировать процесс парирования нештатных (аварийных) ситуаций при проведении испытаний перспективных образцов космических средств. *Материалы и методы.* При разработке системы поддержки принятия решений основное внимание уделено формированию структурной схемы базы данных и возможности применения метода рассуждений на основе прецедентов. *Результаты.* Предложен подход к реализации системы поддержки принятия решений, использующий механизм рассуждений на основе прецедентов в системе экспертного диагностирования. Данный подход позволяет своевременно и более качественно осуществлять контроль технического состояния космических средств и дает возможность принимать адекватные решения с целью разрешения проблемных ситуаций. *Выводы.* Разработанная система поддержки принятия решений способствует уменьшению информационной нагрузки на должностное лицо в процессе принятия решений, снижению влияния факторов субъективности при анализе текущей ситуации, повышению оперативности принятия решения на этапе испытаний космических средств при контроле их технического состояния. Предложенный аппарат предлагается использовать для автоматизации процессов анализа испытаний и оперативного поиска разрешения нештатных и аварийных ситуаций при испытании перспективных космических средств.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, прецедент, космическое средство, испытания, база данных

Для цитирования: Иванов И. Г., Морозов С. В., Белокопытов М. Л. Повышение качества испытаний космических средств путем использования системы поддержки принятия решений на основе прецедентов // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 121–130. doi:10.21685/2307-5538-2022-3-15

IMPROVING THE QUALITY OF TESTING OF SPACE ASSETS BY USING A DECISION SUPPORT SYSTEM BASED ON PRECEDENTS

I.G. Ivanov¹, S.V. Morozov², M.L. Belokopytov³

¹ Main Test Space Center named after G.S. Titov, Krasnoznamensk, Russia

² 15th Army of the Special Purpose Aerospace Forces, Krasnoznamensk, Russia

³ Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky, St. Petersburg, Russia

¹igorivanov-90@yandex.ru, ²serj090@yandex.ru, ³hommer1990@mail.ru

Abstract. *Background.* The object of research is the processes of development, testing and intended use of existing and promising space assets. The subject of the study is ways to improve the quality of functioning of automated control systems during state tests of samples of space assets. The aim of the work is to develop a decision support system that allows automating the process of parrying emergency situations when testing promising samples of space assets. *Materials and methods.* When developing a decision support system, the main attention is paid to the formation of a structural scheme of the database and the possibility of using the method of reasoning based on precedents. *Results.* An approach to the implementation of a decision support system using a mechanism of reasoning based on precedents in the expert diagnostics system is proposed. This approach makes it possible to monitor the technical condition of space assets in a timely and more qualitative manner and makes it possible to make adequate decisions in order to resolve problematic situations. *Conclusions.* The developed decision support system helps to reduce the information burden on the official in the decision-making process, to reduce the influence of subjectivity factors in analyzing the current situation, to increase the efficiency of decision-making at the stage of testing space assets while monitoring their technical condition. The proposed device is proposed to be used to automate the processes of test analysis and operational search for the resolution of abnormal and emergency situations when testing promising space assets.

Keywords: decision support system, precedent, space vehicle, tests, database

For citation: Ivanov I.G., Morozov S.V., Belokopytov M.L. Improving the quality of testing of space assets by using a decision support system based on precedents. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2022;(3):121–130. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-3-15

Введение

В современных условиях сложной военно-политической обстановки и санкций возникает необходимость создания специальных средств, методов, моделей, информационных технологий, обеспечивающих высокое качество создаваемых образцов космических средств (КСр) на всех этапах жизненного цикла вооружения и военной техники.

Ситуация обостряется и с техническим усложнением и повышением наукоемкости КСр – бортовых специальных систем и комплексов, систем управления движением, систем терморегулирования, бортовых и наземных командно-измерительных систем, систем контроля, мониторинга и диагностики.

Существующие подходы к решению проблемы информационного сопровождения процессов испытаний КСр (как научно-теоретические так и применяемые на практике предприятиями военно-промышленного комплекса) решают большую часть задач области исследования, однако не предполагают их системной проработки и не дают обобщенных рекомендаций по интеграции современных средств автоматизации в единую автоматизированную информационную среду испытательной организации.

Существующие системы поддержки принятия решений (СППР) непосредственно связаны с актуальной в области искусственного интеллекта (ИИ) проблемой моделирования правдоподобных рассуждений, так называемых рассуждений «здравого смысла» [1, 2]. Использование рассуждений в СППР для мониторинга и управления такими сложными техническими объектами, как КСр, и процессами различной природы позволит осуществлять оперативный анализ проблемной ситуации и помочь лицам, принимающим решения (ЛПР), в качестве которых выступают эксплуатирующий персонал испытательной организации, члены главных оперативных групп управления, разработчики образцов КСр, находить адекватные и эффективные управляющие воздействия с целью разрешения нештатных и аварийных ситуаций. Задачи по оперативному руководству испытаниями и отработкой программ летных (государственных) испытаний КСр, контролю выполнения работ, организации взаимодействия эксплуатирующего персонала и представителей промышленности, анализу выполнения программы испытаний, разработке и выдаче рекомендаций по восстановлению функционирования образца КСр при возникновении аварийных и нештатных ситуаций требуют принятия оперативных решений на основе прецедентов для СППР. Подобные СППР смогли бы помочь автоматизировать процесс парирования нештатных (аварийных) ситуаций при проведении испытаний перспективных образцов КСр.

Летные испытания космических систем и комплексов (КС (КК)) как наиболее продолжительный и ответственный этап жизненного цикла могут задавать условия для интеграции финансовых, организационных и технических ресурсов в единую СППР на основе прецедентов, позволяющую оценивать техническое состояние КСр как на этапе испытаний, так и в процессе

их эксплуатации. На основании СППР оцениваются задаваемые технико-эксплуатационные характеристики образца КСр и формируются рекомендации по парированию нештатных и аварийных ситуаций.

Материалы и методы

Оценка технического состояния КСр является приоритетной задачей, которая требует применения специализированных СППР. Существующие методы оценки технического состояния не охватывают всего спектра и характера внешних воздействий на КСр, а также конкретный тип нештатных и аварийных ситуаций, возникающих в процессе испытаний и эксплуатации образца КСр. Сложность решения данной задачи обусловлена слабой формализацией сведений об отказах, которые имеют описательный характер, отсутствием систематизированной информации о характере и изменениях внешних воздействующих факторов, большим количеством контролируемых параметров и взаимосвязей между ними, а также недостаточным количеством статистических данных, полученных в ходе испытаний вновь создаваемого образца КСр.

В связи с этим только специалисты, обладающие большим опытом работы в области проектирования, разработки, создания и испытаний КСр, могут обосновать принятие решения по конкретному отказу (возникновению нештатной или аварийной ситуации, выход контролируемого параметра к пограничным значениям допуска и за его пределы, возникновение «плавающей» неисправности), как правило, находя решение «по аналогии с предыдущим», т.е. адаптируя принятое ранее решение к текущей ситуации.

Следовательно, перспективным является решение задачи оценки технического состояния КСр путем создания СППР, имитирующей человеческие рассуждения и основанной на эффективном использовании существующего опыта, представленного в виде прецедентов [3]. Такая система позволит обобщать информацию, адаптироваться к ее изменениям, общаться с пользователем на понятном языке, принимать решение в условиях неполной (ненадежной, противоречивой) информации. Наличие механизма рассуждений на основе прецедентов в системе экспертного диагностирования позволит своевременно и более качественно осуществлять контроль технического состояния КСр, и даст возможность принимать адекватные решения с целью разрешения проблемной ситуации [4].

Результаты и обсуждение

Работы по обеспечению непрерывной информационной поддержки изделия на всех этапах его жизненного цикла связывают с появлением концепции и идеологии CALS, а также с внедрением технологий, поддерживающих теоретические основы компьютеризированными и автоматизированными средствами.

Согласно ГОСТу¹, CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support) – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции, концепция и идеология информационной поддержки жизненного цикла продукции на всех его стадиях, основанная на использовании единого информационного пространства (интегрированной информационной среды), обеспечивающая единообразные способы информационного взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции (включая государственные учреждения и ведомства), поставщиков (производителей) продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала, реализованная посредством нормативных документов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.

Совокупность научных достижений в области информационной поддержки жизненного цикла образца КСр можно представить в виде множества взаимодействующих и взаимодополняющих друг друга подсистем:

– подсистема нормативно-справочной информации (включает в себя технические регламенты, ГОСТы, ОСТы, НТД системы ОТТ, программы и методики испытаний и т.д., описывающие и регламентирующие правила представления данных о КСр, среде и процессах, средствах электронного обмена этими данными между участниками жизненного цикла);

¹ ГОСТ Р 50.1.032–2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 2. Применение стандартов серии ГОСТ Р ИСО 10303.

- подсистема реализаций информационных технологий (представленных в виде готовых приложений (систем), обеспечивающих и реализующих выполнение концепций и идеологий на прикладном уровне;
- подсистема научных направлений, создающих теоретические и прикладные основы поддержки жизненного цикла изделия (включает управление конфигурацией, каталогизацию, CALS-концепцию);
- подсистема научных институтов и предприятий, проводящих исследования в области поддержки жизненного цикла.

Перечисленные подсистемы являются также источниками получения первичной (требующей обработки и представления в наглядной форме) информации.

В настоящее время средства автоматизации передачи информации и межмашинного обмена позволяют получать и передавать необходимые данные оперативно, точно и в наглядной форме. На рис. 1 приведена предлагаемая схема организации обмена данными между предприятиями-разработчиками и эксплуатирующей организацией на этапе испытаний КСр.

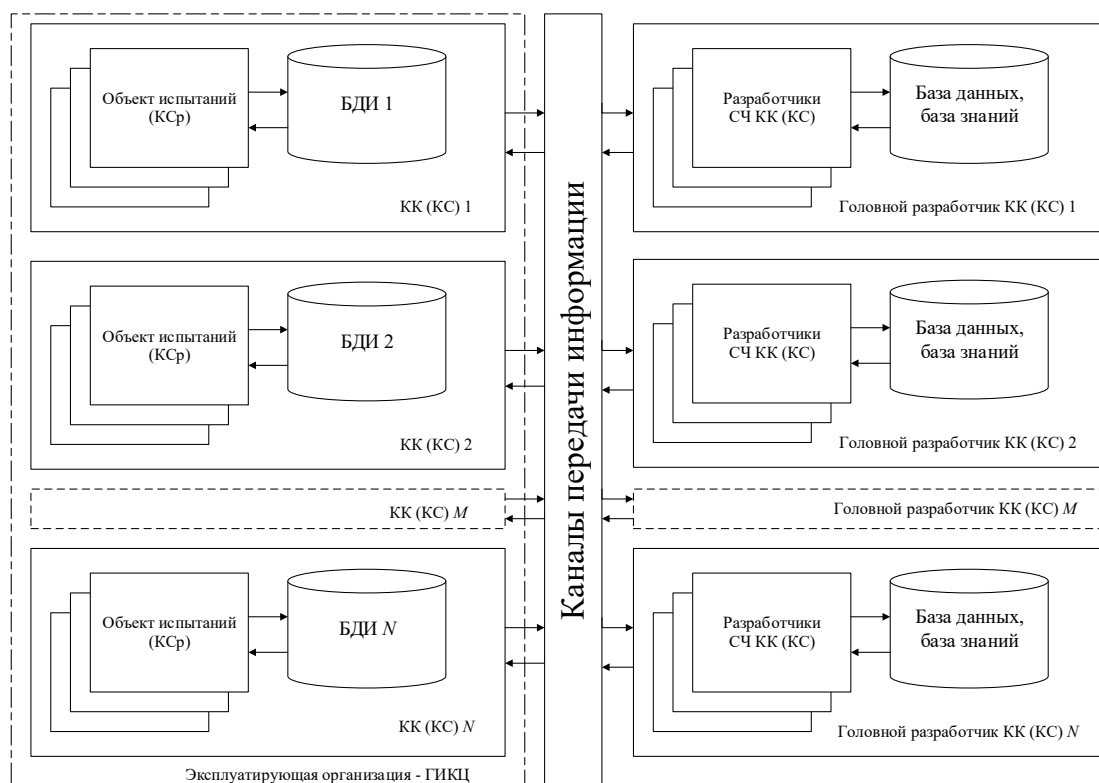


Рис. 1. Схема организации обмена данными на этапе испытаний КС (КК)

На рисунке под БДИ понимается база данных и информации, в которую входят: база данных о результатах испытаний КСр, база данных о результатах испытаний на этапах испытаний меньшего ранга (автономные, интеграционные, комплексные, межведомственные) и о результатах испытаний предшествующих КС (КК), база знаний и база прецедентов.

Модель рассуждений на основе прецедентов (Case-Based Reasoning, CBR) используется для представления знаний в системах различной принадлежности (социально-экономическая, военно-техническая, инженерная сферы). Под прецедентом в настоящей работе понимается описание проблемы или ситуации в совокупности с подробным указанием действий, предпринимаемых в данной ситуации или для решения данной проблемы [5]. Под моделью на основе прецедентов понимается модель принятия решений, в которой используются знания о предыдущих прецедентах. При рассмотрении новой проблемы отыскивается похожий прецедент в качестве аналога. Вместо того, чтобы искать решение каждый раз сначала, можно попытаться использовать решение, принятое в сходной ситуации, возможно, адаптировав его к изменившейся ситуации текущего случая. После того как текущий случай будет обработан, он вносится в базу прецедентов вместе со своим решением для его возможного последующего использования [6].

Метод рассуждений на основе прецедентов включает четыре этапа, формирующие так называемый *CBR*-цикл (рис. 2), или цикл *4R* (*Retrieve*, *Reuse*, *Revise*, *Retain*) [3]:

- извлечение (*retrieve*) наиболее адекватного (подобного) прецедента для сложившейся ситуации из базы знаний;
- повторное использование (*reuse*) извлеченного прецедента для попытки решения текущей проблемы;
- пересмотр и адаптация (*revise*) в случае необходимости полученного решения в соответствии с текущей проблемой;
- сохранение (*retain*) вновь принятого решения как части нового прецедента.

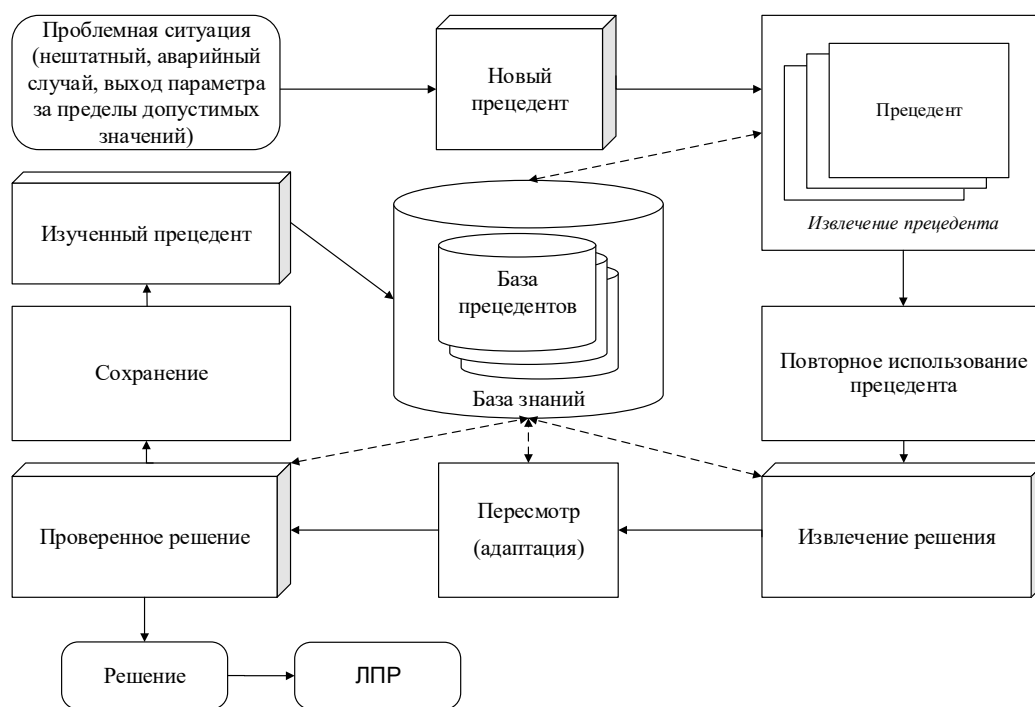


Рис. 2. Структура *CBR*-цикла в СППР при испытании КСр

На основе анализа *CBR* подхода предлагается алгоритм работы СППР по поиску решения при возникновении проблемной (нештатной, аварийной) ситуации на этапе испытаний КСр:

- 1) идентификация проблемной ситуации;
- 2) поиск в базе прецедентов подходящего прецедента;
- 3) выполнение набора операций на тестовой базе (имитаторе работы аппаратуры);
- 4) оценка результата;
- 5) доработка и сохранение нового прецедента в базу прецедентов.

Информация о новой проблемной ситуации используется для извлечения из базы прецедентов наиболее подходящего (подходящих) прецедента (прецедентов). Извлеченный прецедент используется повторно для получения решения новой проблемы (задачи). Затем предложенное решение в случае необходимости может быть адаптировано к особенностям новой ситуации и применено на практике. В случае успешного применения проверенное решение совместно с описанием проблемной ситуации образует новый прецедент, который сохраняется в базе прецедентов. Таким образом, системой накапливается опыт (прецеденты) и реализуется машинное обучение.

В *CBR*-цикле может использоваться не только база прецедентов, но и обобщенные знания о предметной области для поддержки процесса рассуждения на основе прецедентов. Эта поддержка может быть слабой или сильной, а может и отсутствовать полностью.

Как правило, в *CBR*-цикле на различных этапах требуется привлечение ЛППР. Если процесс извлечения прецедентов может выполняться автоматически, то для процесса адаптации и повторного использования прецедентов может потребоваться участие ЛППР.

Проблема представления прецедента – это, прежде всего, проблема выбора информации, которую надо включать в описание прецедентов, нахождение соответствующей структуры для описания его содержания, а также определения, каким образом должна быть организована база знаний прецедентов для эффективного поиска и многократного использования.

Первоначальное описание прецедента может быть представлено в виде

$$Pr\ aecedens = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, k), \quad (1)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – значения атрибутов прецедента, идентифицирующих ситуацию, в качестве которых могут выступать числовые признаки – веса ключевых слов, определяющих связи прецедента с понятиями предметной области, а также дополнительные параметры из описания прецедента, имеющие в основном качественный тип (средство, предполагаемая причина, узел, значения параметра, затраченные материальные и временные ресурсы, пределы допустимых значений и т.п.); k – решение проблемы, определенное в прецеденте; K – класс семантически близких прецедентов из множества $K = \{k_1, k_2, \dots, k_d\}$.

В последующем, по мере углубления в проблемную область, возможно усложнение структуры прецедента, введение иерархических и других отношений между признаками. Например, для формирования структуры базы прецедентов возможно провести кластеризацию прецедентов по признакам: нештатная ситуация, аварийная ситуация, выход параметра за пределы допустимых значений, проблемная ситуация возникла в обеспечивающей аппаратуре или в специальной (целевой) и т.п. Для формирования кластера прецедентов необходимо сформировать экспертную группу.

Анализ условий создания и испытаний КСр показал, что в качестве экспертов для формирования кластера прецедентов следует привлекать группы экспертов по четырем направлениям:

- группа заказчика – включает представителей органов военного управления, Департамента МО РФ по обеспечению государственного оборонного заказа, головного центрального научно-исследовательского института МО РФ;
- группа разработчиков КС (КК) – включает главного конструктора, конструкторов по направлениям работы, ведущих специалистов, инженеров;
- группа разработчиков средств наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) – включает специалистов организаций-разработчиков средств НАКУ;
- группа испытывающей и эксплуатирующей организации – включает специалистов в области испытаний и эксплуатации средств НАКУ и составных частей КС (КК).

Для каждой из вышеперечисленных групп экспертов устанавливается весовой коэффициент. Значения коэффициентов основаны на обобщении работ отечественных и зарубежных авторов по оценке профессиональной ориентации экспертов в теоретическом анализе проблемы и производственном опыте. Кроме того, о значимости каждой из групп экспертов можно судить на основании анализа затрат на устранение ошибок, возникающих на каждой из стадий жизненного цикла технического средства. Установлено, что исправление ошибки, допущенной конструктором изделия на этапе конструирования, стоит 1 р., на этапе проектирования – 10 р., а в производстве – 100 р. [7]. Следовательно, наибольшие оценки значимости мнений экспертов были присвоены группам разработчиков КС (КК) и заказчиков, получившим оценки 4 и 3 соответственно, мнение групп разработчиков средств НАКУ и эксплуатирующей организации – по 2 балла.

Весовые коэффициенты групп экспертов, рассчитанные как отношение каждой оценки к их сумме, составляют:

- группа заказчика (g_1) – 0,27;
- группа разработчиков КС (КК) (g_2) – 0,37;
- группа разработчиков средств НАКУ (g_3) – 0,18;
- группа испытывающей и эксплуатирующей организации (g_4) – 0,18.

Прецедент (1) является описанием текущего технического состояния КСр в совокупности с указанием работ, которые проводятся в результате испытаний и включает следующие основные компоненты (рис. 3): технико-эксплуатационные параметры КСр, причины проблемной ситуации, рекомендации по применению решения и т.д.



Рис. 3. Структура прецедента в базе прецедентов СППР в процессе испытаний КСр

База прецедентов СППР содержит информацию о каждом техническом параметре, который используется для описания прецедентов. Структура базы прецедентов СППР в процессе испытаний КСр представлена на рис. 4.



Рис. 4. Структура базы данных прецедентов СППР в процессе испытаний КСр

После того, как отобран соответствующий прецедент, может выполняться его адаптация – модификация имеющегося в нем решения с целью его соответствия параметрам текущей ситуации и сохранения в базе прецедентов. В случае отсутствия необходимости в адаптации выполняется сохранение выбранного прецедента без изменения параметров.

Концептуальную модель автоматизированной системы управления в процессе испытаний КСр на основе прецедентов можно представить в виде совокупности блоков, изображенных на рис. 5.

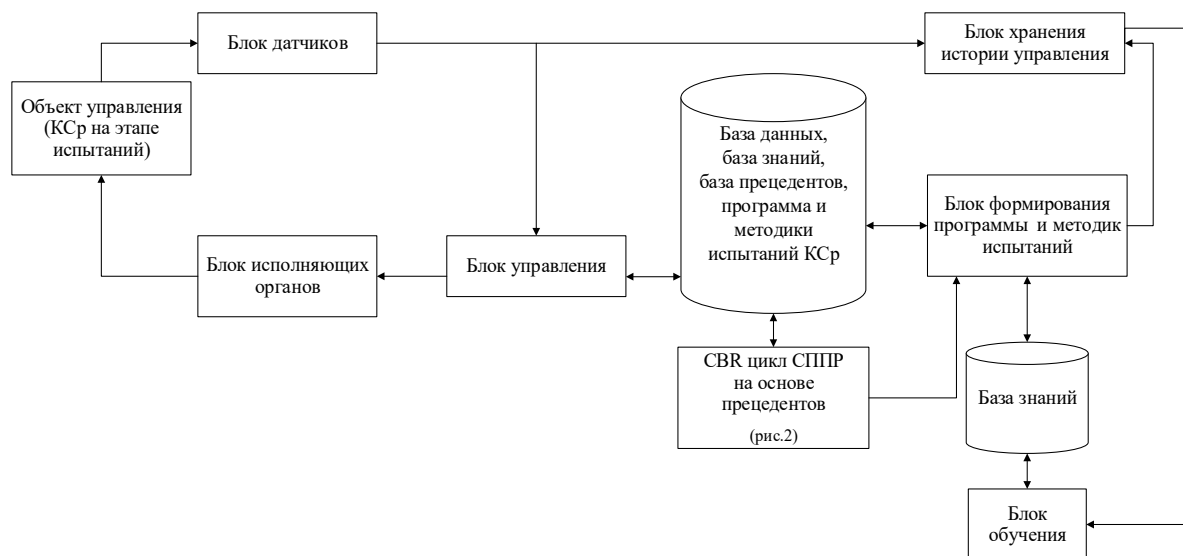


Рис. 5. Структурная схема концептуальной модели автоматизированной системы управления в процессе испытаний КСр на основе прецедентов

В блоке «*CBR*-цикл СППР на основе прецедентов» происходит извлечение прецедентов и формируются рекомендации ЛППР по результатам возникновения проблемной ситуации. Последовательности изменения интересующих параметров от времени записываются в блок «база данных и прецедентов». В этой многоуровневой базе данных происходит последовательное преобразование входных образов в управляющие воздействия посредством блока «формирования программы и методик испытаний». Выходные величины формируются в блоке «база знаний». В результате формируется последовательность управляющих параметров, которая сохраняется в «базе данных и прецедентов». На основе полученных данных «блок управления» производит непосредственное проведение испытаний. В процессе проведения испытаний с помощью «блока датчиков» получаем информацию о текущих (контролируемых) параметрах образца КСр. Все эти данные сохраняются в блоке «хранения информации». «Блок обучения» может управлять «блоком управления» и получать информацию с датчиков в режиме обратной связи. Это необходимо для того, чтобы заполнить базу знаний, на основе которой формируются управляющие правила. Эти правила также могут создаваться или корректироваться на основе информации, которая поступает с «блока хранения истории управления» на блок обучения.

Во время проведения испытаний в автоматизированной системе управления в процессе испытаний КСр используется обратная связь. Она применяется не только для фиксации результатов, но и для заполнения базы знаний с помощью метода прецедентов.

Основными функциональными компонентами автоматизированной системы управления в процессе испытаний КСр на основе прецедентов становятся:

- получение значений контролируемых параметров (характеристик) КСр от эксплуатирующего персонала, системы контроллеров, из базы данных;
- анализ технического состояния КСр, предназначенный для предварительной обработки информации при возникновении проблемной ситуации;
- настройка базы прецедентов, позволяющая эксперту формировать структуру базы прецедентов, загрузку и сохранение и т.д.;

- создание, накопление, корректировка библиотек прецедентов, которые уже имели место при проведении испытаний КСр или заданы экспертом на основе его собственного опыта;
- поиск решения, который реализует поиск прецедентов;
- вывод результатов, который отображает «предварительный диагноз» и рекомендации ЛПР и/или эксперту.

Заключение

В ходе проведенного исследования было установлено, что поддержка принятия решений при проведении государственных испытаний образцов КСр на основе прецедентов позволяет решать слабо форматизированные задачи контроля и оценки технического состояния КСр, упростить получение знаний от экспертов, сократить время поиска решения и реализовать алгоритм работы автоматизированной системы управления в процессе испытаний КСр на основе прецедентов.

Предложена структурная схема концептуальной модели автоматизированной системы управления в процессе испытаний космических средств на основе прецедентов, которая благодаря наличию механизма рассуждений на основе прецедентов в системе экспертного диагностирования позволит своевременно и более качественно осуществлять контроль технического состояния КСр и даст возможность принимать адекватные решения с целью разрешения проблемных ситуаций. Применение СППР будет способствовать уменьшению информационной нагрузки на ЛПР в процессе принятия решений, снижению влияния факторов субъективности при анализе текущей ситуации, повышению оперативности принятия решения на этапе испытаний КСр при контроле технического состояния КСр.

Предложенный аппарат предлагается использовать для автоматизации процессов анализа испытаний и оперативного поиска разрешения нештатных и аварийных ситуаций при испытаниях КСр.

Список литературы

1. Поспелов Д. А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. М. : Радио и связь, 1989. 184 с.
2. Вагин В. Н., Головина Е. Ю., Загорянская А. А. [и др.]. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / под ред. В. Н. Вагина, Д. А. Поспелова. 2-е изд. М. : Физматлит, 2008. 712 с.
3. Aamodt A., Plaza E. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches // *AI Communications*. 1994. Vol. 7, iss. 1. P. 39–59.
4. Варшавский П. Р., Еремеев А. П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2009. № 1. С. 45–57.
5. Юдин В. Н., Карпов Л. Е., Ватазин А. В. Методы интеллектуального анализа данных и вывода по прецедентам в программной системе поддержки врачебных решений // *Альманах клинической медицины*. 2008. Т. 17, ч. 1. С. 266–269.
6. Bonzano A., Cunningham P., Smyth B. Using introspective learning to improve retrieval in CBR: A case study in air traffic control, ICCBR'97. Rhode Island, USA, 1997.
7. Соболев Ю. М. Конструктор и экономика: ФСА для конструктора. Пермь, 1987. 102 с.
8. Берман А. Ф., Николайчук О. А., Павлов А. И. [и др.]. Использование прецедентов для обоснования мероприятий по предотвращению отказов механических систем // *Труды 11-й национальной конференции по ИИ с международным участием (КИИ-2008, г. Дубна, Россия)* : в 3 т. М., 2008. Т. 2. С. 106–113.
9. Иванов И. Г. Обоснование экспертного метода оценки характеристик объекта космической системы (комплекса) // *Всероссийский форум научной молодежи «Богатство России»* : сб. докл. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. С. 7–8.

References

1. Pospelov D.A. *Modelirovanie rassuzhdeniy. Opyt analiza myslitel'nykh aktov = Modeling of reasoning. The experience of analyzing mental acts*. Moscow: Radio i svyaz', 1989:184. (In Russ.)
2. Vagin V.N., Golovina E.Yu., Zagoryanskaya A.A. et al. *Dostovernyy i pravdopodobnyy vyvod v intellektual'nykh sistemakh. 2-e izd. = Reliable and plausible conclusion in intelligent systems. 2nd ed.* Moscow: Fizmatlit, 2008:712. (In Russ.)

3. Aamodt A., Plaza E. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI Communications*. 1994;7(1):39–59.
4. Varshavskiy P.R., Ereemeev A.P. Modeling of reasoning based on precedents in intelligent decision support systems. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy = Artificial intelligence and decision-making*. 2009;(1):45–57. (In Russ.)
5. Yudin V.N., Karpov L.E., Vatazin A.V. Methods of data mining and inference according to precedents in the software system for supporting medical decisions. *Al'manakh klinicheskoy meditsiny = Almanac of clinical Medicine*. 2008;17(1):266–269. (In Russ.)
6. Bonzano A., Cunningham P., Smyth B. *Using introspective learning to improve retrieval in CBR: A case study in air traffic control, ICCBR'97*. Rhode Island, USA, 1997.
7. Sobolev Yu.M. *Konstruktor i ekonomika: FSA dlya konstruktora = Constructor and economy: FSA for the constructor*. Perm', 1987:102. (In Russ.)
8. Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Pavlov A.I. et al. The use of precedents to justify measures to prevent failures of mechanical systems. *Trudy 11-y natsional'noy konferentsii po II s mezhdunarodnym uchastiem (KII-2008, g. Dubna, Rossiya): v 3 t. = Proceedings of the 11th National Conference on AI with international participation (KII-2008, Dubna, Russia): in 3 volumes*. Moscow, 2008;2:106–113. (In Russ.)
9. Ivanov I.G. Substantiation of an expert method for assessing the characteristics of an object of a space system (complex). *Vserossiyskiy forum nauchnoy molodezhi «Bogatstvo Rossii»: sb. dokl. = All-Russian Forum of scientific Youth "Wealth of Russia" : collection of reports*. Moscow: Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, 2018:7–8. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Игорь Геннадьевич Иванов

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
научно-испытательного отдела,
Главный испытательный космический центр
МО РФ имени Г. С. Титова
(Россия, Московская обл.,
г. Краснознаменск, в/ч 32103)
E-mail: igorivanov-90@yandex.ru

Igor' G. Ivanov

Candidate of technical sciences,
senior researcher of the research
and testing department,
Main Test Space Center named after G.S. Titov
(32102 military unit, Krasnoznamenck,
Moscow region, Russia)

Сергей Викторович Морозов

старший офицер отдела,
15-я армия Воздушно-космических сил
особого назначения
(Россия, Московская обл.,
г. Краснознаменск, в/ч 53035)
E-mail: serj090@yandex.ru

Sergey V. Morozov

Senior officer of the department,
15th Army of the Special Purpose Aerospace Forces
(53035 military unit, Krasnoznamenck,
Moscow region, Russia)

Марк Львович Белокопытов

кандидат технических наук,
начальник научно-исследовательской
лаборатории,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: hommer1990@mail.ru

Mark L. Belokopytov

Candidate of technical sciences,
head of the research laboratory,
Military Space Academy
named after A.F. Mozhaisky
(13 Zhdanovskaya street, St. Petersburg, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию / Received 28.04.2022

Поступила после рецензирования / Revised 30.05.2022

Принята к публикации / Accepted 29.06.2022