

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ПРОТОТИПА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

О. И. Лахин^а, руководитель направления

Е. В. Симонова^{б, в}, канд. техн. наук, доцент, ведущий аналитик

П. О. Скобелев^б, доктор техн. наук, профессор

А. С. Полников^в, аналитик

Ю. С. Юрыгина^в, инженер

^аСамарский государственный технический университет, Самара, РФ

^бСамарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (национальный исследовательский университет), Самара, РФ

^вНаучно-производственная компания «Разумные решения», Самара, РФ

Введение: эксплуатация сложного технического изделия требует больших экономических затрат, поэтому, по возможности, необходимо стремиться минимизировать затраты на обслуживание изделия и при этом поддерживать требуемый уровень надежности. **Цель исследования:** разработка нового подхода к управлению процессами технического обслуживания и ремонта изделий аэрокосмической промышленности. **Методы:** мультиагентные технологии, представление и обработка знаний на основе онтологий. **Результаты:** разработан подход к созданию интеллектуальной системы поддержки процессов технического обслуживания и ремонта для обеспечения показателей надежности и экономичности при эксплуатации сложных технических изделий. Подход включает разработку концептуальной модели изделия, отражающей его физическую и функциональную структуру; агентной модели, в которой каждому узлу объекта эксплуатации ставится в соответствие программный агент, реализующий внутренний цикл управления; киберфизической модели, визуализирующей всю необходимую информацию для пользователя. Приведены сценарии использования системы, наглядно отражающие основные принципы ее работы и практического применения. **Практическая значимость:** системы, разработанные на основе предлагаемого подхода, могут быть как полностью автономными, так и интегрированными в единый комплекс с существующими PLM-системами. Использование мультиагентных технологий позволит повысить уровень надежности сложного технического изделия на этапе эксплуатации, а также минимизировать затраты на проведение операций по ремонту и техническому обслуживанию изделия.

Ключевые слова — летательный аппарат, ресурсы, надежность, безопасность, живучесть, прогнозирование, отказ, нештатная и аварийная ситуация, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт, поддержка принятия решений, мультиагентная технология, онтология предметной области, киберфизическая модель.

Введение

Эксплуатация сложного технического изделия (СТИ) с обеспечением необходимого уровня надежности и экономичности является не менее масштабной задачей, чем проектирование и производство [1]. Для поддержания СТИ в рабочем состоянии необходимо предъявлять высокие требования не только к надежности отдельных узлов, агрегатов и модулей, но и к надежности изделия в целом. Задача проведения своевременного технического обслуживания и ремонта (ТОиР) наиболее остро стоит для изделий аэрокосмической промышленности [2, 3].

Ключевую роль в планировании всего процесса ТОиР играют особенности конструктивных характеристик летательного аппарата (ЛА) и системы его технического обслуживания (ТО). К таким характеристикам относятся:

— номенклатура и надежность комплектующих изделий;

— состав и структура запчастей и принадлежностей (ЗИП);

— периодичность и трудоемкость выполнения планового ТО;

— трудоемкость и продолжительность поиска и устранения неисправностей и др.

В свою очередь конструкция ЛА и система ТО, начиная с ранних этапов проектирования ЛА, должны подвергаться тщательному анализу на предмет соответствия заданным требованиям по уровню надежности и затратам на его обеспечение. На основании этих условий можно выделить совокупность следующих задач:

1) анализ изделия, формирование его функциональной и пространственной структуры с помощью онтологии;

2) анализ видов, критичности и последствий отказов;

3) выбор методики и разработка плана ТО;

4) оценка потребностей в запасных частях, расходных материалах, средствах наземного обслуживания и контроля, инструментах и принадлежностях для планового и внепланового обслуживания;

5) оценка затрат на ТО и степени надежности изделия;

6) использование киберфизической модели изделия.

В целях оптимизации процессов ТОиР, а также обеспечения показателей надежности и экономичности эксплуатации СТИ предлагается на основе мультиагентных технологий разработать интеллектуальную систему поддержки процессов ТОиР — Smart Maintenance, являющуюся подсистемой интеллектуальной системы управления жизненным циклом изделия Smart PLM [3, 4].

Задача обеспечения надежности СТИ

Для обеспечения надежности СТИ необходимо раннее выявление и предупреждение угроз возникновения и развития отказов на борту ЛА и оптимизация работы наземных служб (ресурсов ремонтно-технической бригады, схемы логистического снабжения, а также производителей и проектировщиков изделия и компонент) в целях снижения затрат на ТОиР при поддержании необходимого уровня надежности [5–7].

Затраты на эксплуатацию, ТОиР составляют значительную часть общих затрат на сопровождение жизненного цикла СТИ. Прямые затраты на техническое обслуживание ЛА включают в себя затраты на плановое и внеплановое обслуживание.

Под плановым обслуживанием подразумеваются планово-профилактические работы, выполняемые в соответствии с программой ТО для данного типа ЛА, в которой определены условия и периодичность выполнения работ, а также содержатся сведения об их трудоемкости, расходуемых запасных частях и материалах.

Под внеплановым обслуживанием подразумеваются работы, выполняемые в случае выявления дефектов и возникновения отказов узлов, направленные на их устранение.

Стоит отметить следующие причины высокой сложности задачи прогнозирования отказов.

1. Каждый ЛА обладает собственной динамикой отказов в зависимости от условий эксплуатации, особенностей сборки, поставщиков комплектующих и проведения предшествующих сеансов ТОиР.

2. Отказы взаимосвязаны, т. е. выявленный и устраненный отказ одного компонента может повлечь дальнейшее развитие отказов в других узлах, связанных функционально или пространственно.

3. Динамика отказов не случайна и может быть выявлена при анализе статистики по наработке большого парка ЛА. Но однажды выявленная динамика не постоянна и подвержена изменениям в связи с изменениями условий эксплуатации.

На практике развитию отказов на ЛА всегда предшествует множество первых признаков или симптомов возникающих дефектов. Своевременное выявление этих признаков может существенно повысить эффективность действий по устранению источников опасности путем восстановления работоспособности отказавшего узла либо полной замены неисправного агрегата, а также позволит получить сопутствующий экономический эффект за счет исключения простоя ЛА во время внепланового ТО.

Такой подход требует сбора, формализации, интеграции и использования разнородных знаний об объектах эксплуатации для построения моделей их устройства и функционирования, а также специальных методов раннего прогнозирования и выявления отказов, динамического планирования мероприятий по их профилактике, предупреждению и устранению.

Ключевыми параметрами при выполнении анализа являются показатели надежности комплектующих изделий, трудоемкости и продолжительности поиска и устранения неисправностей разных компонентов, аналогичные параметрам работ планового ТО. При проектировании совершенно нового типа ЛА нет других возможностей, кроме использования расчетных или экспертных оценок. Для уже эксплуатируемых ЛА целесообразно воспользоваться накопленной эксплуатационной статистикой, намного более достоверно отражающей действительную картину. В связи с этим следует выделить задачу мониторинга технического состояния эксплуатируемых изделий, напрямую связанную с созданием эффективной системы оценки и оптимизации надежности при ТОиР.

Предлагаемый подход к решению задачи

При разработке системы поддержки эксплуатации изделий, ТОиР Smart Maintenance решение поставленных задач предлагается осуществлять на основе мультиагентных технологий, а также представления и обработки знаний на основе онтологий [8, 9]. При таком подходе каждой подсистеме или узлу объекта эксплуатации ставится в соответствие программный агент. Агент представляет собой автономную программу, которая может реагировать на события, принимать решения и взаимодействовать с другими агентами или пользователями, не требуя внешних инструкций, а реализуя внутренний встроенный цикл управления.

Задачей Smart Maintenance является определение фактического либо возможного отказа систем, узлов и агрегатов ЛА на основании потока разнородных данных: телеметрии, показателей приборов, наблюдений техников, условий эксплуатации, статистики предыдущих отказов, показателей надежности аналогичных изделий. Эту задачу предлагается решать на основе создания специализированных компьютерных средств представления и интеграции знаний: предметных онтологий и киберфизической модели.

В основе Smart Maintenance лежит концептуальная модель изделия, которая состоит из элементов, организованных в системы, где выход одного элемента или системы является входом другого элемента или системы, образуя функциональные связи. Все элементы и системы связаны пространственными отношениями, по которым можно определять взаимосвязи отказов с их проявлениями, а также прогнозировать влияние различных событий (изменения условий эксплуатации, замены отказавшего блока неидентичным аналогом, отказов смежных или иначе связанных узлов и агрегатов и т. п.) на изменение динамики отказов.

Каждая система ЛА состоит из узлов и компонентов, которые в онтологии описываются атрибутами: плотностью распределения отказов, средней наработкой до отказа, обеспечиваемым коэффициентом надежности, ресурсом работы, сроком эксплуатации и др. На основании информации о возможных видах отказов изделия и его компонентов прогнозируется вероятность возникновения отказов в эксплуатируемых ЛА, выделяются возможные виды отказов на различных уровнях структуры (отказ элемента, отказ устройства, отказ системы), прослеживаются причинно-следственные связи, обуславливающие возникновение отказов и возможных последствий.

Уникальные особенности каждого изделия будут отображаться в его киберфизической модели. Под киберфизической моделью будем понимать разностороннее представление сложного объекта в окружающей среде посредством описания в онтологическом базисе и последующее представление получившейся модели в форме, максимально удобной для восприятия пользователем. Примером киберфизической модели является подробная трехмерная модель изделия (а также его составных систем, узлов и агрегатов), которая сопровождает реальный объект на протяжении всего его жизненного цикла — от проектирования до утилизации. Изначально идентичные для серийных изделий модели, соответствующие изделиям, которые эксплуатируются в различных условиях (например, два типовых ЛА осуществляют рейсы на Крайний Север и в тропики), начинают накапливать информацию

об изменениях в износе различных компонентов. Фактические условия описываются для модели каждого изделия, после чего становится возможным сформировать прогноз влияния указанных условий на будущие отказы.

В течение своей жизни любое СТИ также претерпевает ряд изменений, оказывающих влияние на его характеристики: изменение схемы электропроводки, проведение внепланового ТО и т. п. Изменившиеся условия эксплуатации изделия приводят к тому, что даже выпущенные подряд серийные экземпляры начинают существенно различаться по своим характеристикам после нескольких лет эксплуатации. Данная проблема особо актуальна для авиационной отрасли, где срок жизни ЛА исчисляется десятками лет, в течение которых состав и взаимное расположение различных составных частей, узлов и агрегатов может изменяться практически полностью. Посредством закрепления за каждым эксплуатируемым ЛА его киберфизической модели предлагается создать инструмент, позволяющий:

- своевременно фиксировать фактически происходящие с объектом изменения в целях преемственности знаний;
- учитывать фактические особенности каждого ЛА при проведении планового ТО;
- прогнозировать влияние особенностей ЛА на надежность его отдельных узлов и выявлять источники потенциальных отказов;
- проводить оценку затрат при ТОиР и выявлять возможные пути оптимизации расходов при сохранении необходимого уровня надежности.

На основании статистики отказов прошлых лет и известных данных об особенностях каждого ЛА становится возможным спрогнозировать плотность распределения отказов для парка на некий планируемый период, что позволяет сформировать номенклатурный список необходимых ЗИП и их разделение по требованию наличия у различных ремонтных служб.

Например, если при наличии в парке авиакомпании 20 однотипных самолетов для какого-то узла раньше наблюдался всего 1 отказ за 10 лет, а за 10 месяцев текущего года на различных судах произошло 6 отказов, можно сделать вывод, что либо истек фактический срок работоспособности узла (который может не совпадать с номинальным из-за особенностей эксплуатации), либо отказы вызываются внешними условиями (средой эксплуатации или соседними агрегатами) или особенностями проведения планового ТО (от изменения используемого типа смазки вплоть до нарушения методики проведения ТО одним из сотрудников ремонтной бригады). Поскольку наблюдается изменение динамики одного из контролируемых параметров, концептуальная модель изделия должна на основе онтологических

связей проанализировать варианты возникновения проблемы и предложить возможные способы ее решения. При этом в интерфейсе системы посредством трехмерной киберфизической модели пользователь сможет увидеть подсвеченный проблемный узел, выделить и укрупнить его, чтобы проследить критические функциональные, пространственные и другие связи.

Сценарий практического использования системы Smart Maintenance

Рассмотрим следующий сценарий практического использования системы. Пусть некоторая авиакомпания обладает парком самолетов для выполнения регулярных коммерческих перевозок и стремится минимизировать затраты на ТОиР, а также убытки от вынужденного простоя ЛА. Предположим, что рост затрат за некий обозримый промежуток времени обусловлен одновременной выработкой назначенного ресурса у нескольких дорогостоящих компонентов, которая совпала с выполнением трудоемких видов обслуживания. Проведя подобный анализ, система может предложить либо еще на этапе проектирования внести изменения в конструкцию изделия непосредственно в конструкторском бюро, либо, при отсутствии такой возможности, изменить систему технической эксплуатации, чтобы замена всех компонентов на каждом ЛА происходила не одновременно, а была распределена в течение некоторого периода времени. Тем самым будет выровнена долгосрочная структура расходов на ТОиР, кроме того, при этом проявятся уникальные особенности эксплуатации каждого ЛА, которые необходимо зафиксировать в их киберфизических моделях для более корректного прогнозирования последующих событий.

Анализируя вероятность возникновения проблемы по онтологическим связям и ее распространение на другие системы, можно проследить, как этот процесс повлияет на надежность всего ЛА, а также провести оценку затрат на восстановление работоспособности ЛА при различных входных условиях. При этом Smart Maintenance рассчитывает вероятности влияния и распространения обнаруженной локальной проблемы по связям сети онтологии, затем — вероятность отказа других устройств, а также вероятность неисполнения оперативных и стратегических планов.

Smart Maintenance позволяет рассчитать риски с учетом различных факторов. Например, если имеется система резервирования и отказ узла в полете не критичен для безопасности полета, учитываемый риск будет меньше, чем при отсутствии системы резервирования. Если система еще и критична для обеспечения безопасно-

сти полета, риск будет максимальным, при этом необходимо срочно изменить план полета и провести внеплановое ТО в целях устранения опасности и замены узла. Отметим, что замена узла может оказаться целесообразной даже в том случае, если определено, что вероятность отказа велика и продолжает расти, но отказ еще не произошел, поскольку такую операцию можно провести во время планового ТО, чтобы избежать необходимости внепланового ТО в момент выявления фактического отказа.

В системе Smart Maintenance отображается шкала возможных рисков, более критичные из них имеют высший приоритет и учитываются при планировании мероприятий по их устранению в первую очередь. При этом планирование и возвращение ситуации к равновесию происходит на всех уровнях.

Модель мира агентов

При предлагаемом подходе к процессу эксплуатации ЛА каждый из участников процесса ТОиР вносит свои знания об объекте, исходя из своей сферы ответственности, критериев, предпочтений и ограничений, но способен при выявлении конфликта возвращаться на несколько шагов назад, изменять и пересматривать свои решения в случае, если результаты выходят за рамки общих ограничений, принятых для команды.

Рассмотрим модель мира агентов и работу предлагаемого метода на упрощенном примере управления процессом технической эксплуатации ЛА, в котором участвуют различные специалисты по составным частям и системам ЛА.

Введем два основных класса агентов: агентов потребностей (заказов) и агентов возможностей (ресурсов), — которые находятся в постоянном поиске друг друга. Цель агента потребности — найти для себя наилучшую по заданным параметрам возможность для реализации, а цель агента возможности — максимально эффективно использовать свой ресурс. Агенты возможностей и агенты потребностей представляют собой находящиеся в постоянном взаимодействии сущности, которые в зависимости от ситуации могут переходить от конкуренции, когда на одну потребность претендуют две возможности (и наоборот, две потребности борются за одну возможность), к кооперации, когда для удовлетворения одной большой потребности может быть необходимо несколько возможностей (и наоборот). Если некоторой потребности в текущий момент времени наилучшим образом подходит определенная возможность, а этой возможности — данная потребность, соответствующие агенты заключают договор и устанавливают между собой связь «нуждается-в», образуя сеть потребностей и возможностей (ПВ-сеть) [10].

Основные задачи агентов в данном случае:

— как можно ранее сигнализировать об отклонении наблюдаемых показателей ресурса от номинальных значений;

— прогнозировать дальнейший уровень развития ситуации, отличающийся от планового режима работы;

— выяснить, насколько критичным является отклонение для безопасности полета;

— если событие критичное, определить, возможно ли устранить отказ имеющимися в распоряжении авиационно-технической базы ресурсами (наличие запасных частей, квалифицированного персонала) либо необходимо проводить внеплановое ТО;

— перераспределить заказы логистической службы доставки запасных частей таким образом, чтобы восполнить необходимый ЗИП после выполнения планового ТО, либо обеспечить доставку нужных изделий к дате внепланового ТО;

— по возможности, обнаружить и локализовать причину отклонения, а также в целях предотвращения будущих отказов выдать рекомендации по эксплуатации ЛА, наличию необходимых ЗИП либо по требованиям к проектированию новых изделий.

Агент возможности при этом должен решить, готов ли он распределить свой ресурс равномерно между всеми потребителями на основе приоритетов либо других стратегий или параметров. Очевидно, что его решение вызовет «волну» пересмотров решений у других агентов, причем длина этой волны будет заранее неизвестна, но позволит смоделировать и увидеть всю цепочку последствий принятого решения, что особенно важно для соответствующих специалистов.

Допустим, что при проведении работ по модернизации ЛА в расчетах была учтена накопленная статистика по базовой модели, полученная от служб конструкторского бюро и эксплуатирующих организаций. Расчеты показали, что затраты, связанные с выполнением периодического обслуживания, у рассматриваемого ЛА оказались хуже, чем у изделий-аналогов. Анализ распределения затрат показал, что наибольший вклад в трудоемкость планового ТО вносят работы с периодичностью выполнения 25 летних часов. Предположим, что в результате анализа выяснилось, что наибольший вклад в затраты вносят работы по смазке, имеющие значительную трудоемкость. Для снижения затрат по этой статье Smart Maintenance предложит следующие решения:

1) в состав средств наземного обслуживания включить современные смазочные пистолеты, позволяющие выполнять работы по смазке одному технику в кратчайшее время;

2) в некоторых изделиях, не влияющих на летную годность, применить «несмазываемые» подшипники, что позволит сократить время ТО.

Таким образом, предлагаемая система Smart Maintenance представляет собой сообщество программных агентов, каждый из которых реализует полный цикл управления своим объектом (подсистемой, узлом, прибором и т. д.) следующим образом:

1) настраивается на заданную цель (задачу);

2) выбирает сценарии для достижения цели или выполнения задачи;

3) реагирует на события (изменения) в ситуации (сцене);

4) планирует и перепланирует свою деятельность, устанавливая и изменяя связи с другими агентами в случае возникновения непредвиденных событий;

5) взаимодействует с другими агентами или пользователями, т. е. информирует о своем состоянии, предлагает решения, согласовывает свои действия, устанавливает или разрывает связи, дает встречные предложения, спрашивает и отвечает на запросы других агентов и пользователей;

6) прогнозирует свое поведение на горизонт планирования;

7) ведет мониторинг и контроль исполнения намеченного плана;

8) выявляет расхождение между планом и фактом и инициирует перепланирование для его устранения;

9) обучается (в будущем) из опыта.

Чем более удовлетворены агенты своими связями — тем сильнее связи — тем в большем равновесии находится вся система. Но при возникновении непредвиденных событий часть связей обрывается, и элементы начинают немедленно искать новые возможности, при этом существующие связи начинают пересматриваться. Система постепенно проходит состояние хаоса и переходит в новое равновесие, соответствующее новому распределению потребностей и возможностей или новым планам использования ресурсов.

Таким образом, первой задачей системы Smart Maintenance является выявление возможной грядущей проблемы из потока разнородных данных. Эту задачу предлагается решать на основе создания специализированных компьютерных средств представления и интеграции знаний: предметных онтологий и киберфизической модели ЛА на основе сетей потребностей и возможностей, которые описывают основные ресурсы и помогают проследить связи основных подсистем на уровне потребностей и возможностей отдельных узлов, показывающих взаимные зависимости между ними.

Второй задачей Smart Maintenance является динамическое планирование своевременных

мероприятий по обеспечению проведения ТО и логистических задач по снабжению авиационно-технической базы в случае появления первых признаков и возникновения угрозы появления отказов. Эту задачу предлагается решать на основе создания мультиагентной системы, где каждый агент отвечает за определенную подсистему, блок или узел ЛА.

Заключение

Создание пилотируемого ЛА, способного обеспечивать требуемый уровень безопасности и надежности полетов — сложная и комплексная задача. Для ее решения предлагается разработать интеллектуальную систему поддержки процессов ТОиР для обеспечения показателей надежности и экономичности при эксплуатации сложных технических изделий на основе мультиагентных технологий. Ожидаются следующие результаты от использования системы:

- решение сложной задачи прогнозирования и предупреждения отказов на ранних стадиях в условиях неопределенности;
- обеспечение оперативной и гибкой реакции на непредвиденные события;
- снижение сложности и трудоемкости работы эксплуатационно-обслуживающего персонала;
- повышение эффективности использования при ТОиР имеющегося ЗИП и оптимизация не-

обходимого запаса при сохранении требуемого уровня надежности;

- возможность прогнозирования вероятностей вариантов возникновения, протекания и развития отказов;

- получение экономического эффекта за счет оптимизации стратегии ТО для каждого эксплуатируемого изделия.

Приведенные примеры показывают, что анализ затрат на ТО, выполняемый с использованием мультиагентных технологий, позволяет эффективно решать важные практические задачи, нацеленные на обеспечение конкурентоспособности сложной наукоемкой продукции.

Область использования системы Smart Maintenance в дальнейшем планируется распространить на другие области применения, характеризующиеся высокой сложностью. Так, в сравнении с изделиями авиационной промышленности, космические аппараты характеризуются рядом качеств, обуславливающих еще более высокую сложность проведения ТОиР, а методики для космических аппаратов существенно отличаются от подходов к эксплуатации авиационных ЛА. По этой причине для них не представляется возможным использовать существующие средства анализа и мониторинга технического состояния и целесообразно создание интеллектуальных систем нового поколения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ.

Литература

1. Rzevski G., Skobelev P. Managing Complexity. — London — Boston: WIT Press, 2014. — 198 p.
2. Абрамов Б. М., Агарков В. Н., Артемьев М. М., Башилов А. С. CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиационной промышленности. — М.: Изд-во МАИ, 2002. — 340 с.
3. Лахин О. И., Полников А. С., Симонова Е. В., Скобелев П. О. Теория сложности и проблема управления жизненным циклом изделий аэрокосмической промышленности // Информационно-управляющие системы. 2015. № 1(74). С. 4–12.
4. Лахин О. И., Симонова Е. В., Скобелев П. О. Подход к разработке прототипа интеллектуальной системы поддержки принятия согласованных решений при проектировании малоразмерных космических аппаратов на основе мультиагентных технологий // Информационно-управляющие системы. 2015. № 2 (75). С. 43–48.
5. Машошин О. Ф., Бигус А. В. Информационное обеспечение процессов диагностирования авиационной техники // Научный вестник МГТУ ГА. 2002. № 49. С. 44–48.
6. Алексанян А. Р. Планирование процедур поддержания летной годности воздушных судов на основе информационных технологий сетевого планирования // Научный вестник МГТУ ГА. 2011. № 173. С. 65–69.
7. Чекрыжев Н. В. Анализ отказов и повреждений авиационной техники, влияющих на безопасность полетов // Альманах современной науки и образования. 2013. № 10(77). С. 177–180.
8. Новая концепция создания интеллектуальных систем управления жизненным циклом на принципах сетецентрического управления, онтологий и мультиагентных технологий/ В. И. Баклашов, В. А. Комаров, О. И. Лахин, Е. В. Полончук, П. О. Скобелев, В. Ф. Шпиловой // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1(5). С. 1296–1298.
9. Скобелев П. О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени // Онтология проектирования. 2012. № 1(3). С. 6–38.
10. Виттих В. А., Скобелев П. О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и Телемеханика. 2003. № 1. С. 162–169.

UDC 658.512.6

doi:10.15217/issn1684-8853.2015.4.10

Developing a Prototype Intelligent System for Maintenance and Repair of Aerospace Products Based on Multi-Agent TechnologiesLakhin O. I.^a, Project Manager, lakhin@yandex.ruSimonova E. V.^{b, c}, PhD, Associate Professor, Leading Analyst, simonova@smartsolutions-123.ruSkobelev P. O.^b, Dr. Sc., Tech., Professor, petr.skobelev@gmail.comPolnikov A. S.^c, Analyst, polnikov@smartsolutions-123.ruYurygina Y. S.^c, Engineer, Yurygina@smartsolutions-123.ru^aSamara State Technical University, 244, Molodogvardeiskaya St., 443100, Samara, Russian Federation^bSamara State Aerospace University, 34, Moskovskoe Sh., 443086, Samara, Russian Federation^cSoftware Engineering Company «Smart Solutions», 17, Moskovskoe Sh., 443013, Samara, Russian Federation

Purpose: Developing a new approach to the management of aerospace products maintenance and repair. **Methods:** Multi-agent technology along with ontology-based representation and processing of knowledge. **Results:** An approach has been developed to the design of an intelligent system supporting the maintenance and repair which would provide reliability and economic feasibility when using complex technical products. This approach presupposes the development of three models: a conceptual model for the product reflecting its physical and functional structure; an agent model in which each operation object unit has a corresponding software agent implementing a certain inner management cycle; and a cyber-physical model visualizing all the information necessary for the user. Scenarios of using the system are provided, illustrating the basic principles of its functioning and practical application. **Practical value:** Systems based on the suggested approach can be either fully autonomous or integrated into a complex with the existing PLM-systems. Using multi-agent technologies can help to increase the reliability of a complex technical product during its operation. Also, it can minimize the maintenance and repair expenses.

Keywords — Aircraft, Resources, Reliability, Safety, Viability, Forecasting, Failure, Operation, Maintenance and Repair, Decision-Making Support, Multi-Agent Technology, Domain Ontology, Cyber-Physical Model.

References

1. Rzevski G., Skobelev P. *Managing Complexity*. WIT Press, 2014. 198 p.
2. Abramov B. M., Agarkov V. N., Artem'ev M. M., Bashilov A. S. *CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support — nepreryvnaia informatsionnaia podderzhka zhiznennogo tsikla produktsii) v aviastroenii* [CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) in Aircraft Industry]. Moscow, MAI Publ., 2002. 340 p. (In Russian).
3. Lakhin O. I., Polnikov A. S., Simonova E. V., Skobelev P. O. Complexity Theory and Challenges of Aerospace Products Lifecycle Management. *Informatsionno-upravliaushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2015, no. 1, pp. 4–12 (In Russian). doi: 10.15217/issn1684-8853.2015.1.4
4. Lakhin O. I., Simonova E. V., Skobelev P. O. Approach to Development of Intelligent System Prototype of Coordinated Decision-making Support for Designing Small Spacecrafts on the Basis of Multi-agent Technologies. *Informatsionno-upravliaushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2015, no. 2, pp. 43–48 (In Russian). doi:10.15217/issn1684-8853.2015.2.43
5. Mashoshin O. F., Bigus A. V. Information Support of Diagnosing Processes of Aviation Equipment. *Nauchnyj vestnik MGTU GA*, 2002, no. 2, pp. 44–48 (In Russian).
6. Aleksanjan A. R. Planning Procedures for Maintaining the Airworthiness of Aircraft on the Basis of Network Planning Information Technology. *Nauchnyj vestnik MGTU GA*, 2011, no. 173, pp. 65–69 (In Russian).
7. Chekryzhev N. V. Analysis of Failures and Defects of Aviation Equipment which Influence Flight Safety. *Al'manah sovremennoj nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 10, pp. 177–180 (In Russian).
8. Baklashov V. I., Komarov V. A., Lakhin O. I., Polonchuk E. V., Skobelev P. O., Shpilevoy V. F. The New Concept of Creation the Life Cycle Intellectual Control Systems on the Principles of Network-Centric Management, Ontologies and Multi-Agent Technologies. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 1(5), pp. 1296–1298 (In Russian).
9. Skobelev P. O. Activity Ontology for Situational Management of Enterprises in Real Time. *Ontologiya proektirovaniia* [Ontology of Designing], 2012, no. 1, pp. 6–38 (In Russian).
10. Vittih V. A., Skobelev P. O. Multi-agent Interaction Models for Construction of Supply and Demand Networks in Open Systems. *Avtomatika i Telemekhanika*, 2003, no. 1, pp. 162–169 (In Russian).