

УДК 658.512.6

doi:10.15217/issn1684-8853.2015.1.4

ТЕОРИЯ СЛОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О. И. Лахин^а, руководитель направления

А. С. Полников^а, аналитик

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

П. О. Скобелев^{а, б}, доктор техн. наук, профессор, генеральный директор

^аООО «Научно-производственная компания «Разумные решения», Самара, РФ

^бФГАОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (национальный исследовательский университет)», Самара, РФ

Постановка проблемы: в существующих системах управления жизненным циклом изделий используются различные методики, а знания слабо структурированы. По этой причине внедряемые системы эксплуатируются не в полную меру своих возможностей и зачастую используются только на ранних стадиях жизни изделия. В статье описывается новый, сетцентрический подход к управлению жизненным циклом сложных изделий аэрокосмической промышленности. **Методы:** предлагается интеллектуальная сетцентрическая система Smart PLM, которая является надстройкой над традиционными PLM-системами. Smart PLM состоит из взаимосвязанных систем контроля отдельных стадий жизненного цикла, в которых возникающие проблемы решаются по мере возможности локально, но при необходимости глобально. **Результаты:** разработана концепция сетцентрической архитектуры системы управления традиционными системами сопровождения жизненного цикла изделий. Продемонстрированы преимущества предлагаемого подхода на примере сложных изделий аэрокосмической промышленности. Выделены основные компоненты системы Smart PLM и описан механизм их взаимодействия. Обосновано решение использовать онтологии для описания предметной области и мультиагентный подход для построения сети потребностей и возможностей при планировании всех этапов жизненного цикла изделий. Разработана логическая архитектура распределенной мультиагентной системы. Разработанные модели, методы и алгоритмы поддержки принятия решений в отдельных компонентах системы позволяют своевременно обеспечивать адекватную реакцию на возникающие события на всех этапах жизненного цикла изделий аэрокосмической промышленности. **Практическая значимость:** разработанная архитектура системы может применяться как полностью автономно, так и посредством интеграции в единый комплекс с существующими PLM-системами. Использование предлагаемого адаптивного подхода к управлению жизненным циклом изделий аэрокосмической промышленности позволит повысить их надежность и снизить издержки эксплуатации за счет своевременного взаимодействия и учета требований всех участников на различных этапах жизни изделия.

Ключевые слова — жизненный цикл изделия, управление жизненным циклом, PLM-система, поддержка принятия решений, адаптивное управление, сетцентрическая архитектура, мультиагентная технология, стратегическое планирование, онтология предметной области, киберфизическая модель.

Введение

При проектировании, производстве и эксплуатации изделий аэрокосмической промышленности (ИАП) ставится задача повышения качества используемых технологических процессов и конечной продукции при различных условиях эксплуатации. Все в большей мере для экономии времени и денежных средств при управлении жизненным циклом изделий (ЖЦИ, PLM — Product Lifecycle Management) используются программные средства, основанные на знаниях, учитывающие особенности эксплуатации каждого отдельного изделия и позволяющие не только автоматизировать наукоемкие инженерные задачи, но и осуществлять поддержку принятия решений при эксплуатации и обслуживании изделия. В настоящее время в связи с растущей сложностью управления ЖЦИ и усиливающейся конкуренцией, а также высоким уровнем и динамикой изменения индивидуальных требований,

предъявляемых клиентом к изделию, необходимо применять сквозное и связанное адаптивное управление ЖЦИ на всех его этапах [1].

В настоящей статье предлагаются новые принципы управления ЖЦИ аэрокосмической промышленности на основе применения сетцентрического подхода, позволяющего создать интеллектуальную «систему» для повышения эффективности управления всеми основными этапами жизненного цикла сложных изделий, от проектирования и производства — до эксплуатации и утилизации.

Изделие аэрокосмической промышленности как сложная система

Управление ЖЦИ предполагает создание сложных организационно-технических систем, обеспечивающих управление всеми его этапами, начиная от концепции изделия, через его проектирование, конструирование и производство,

до эксплуатации, обслуживания и утилизации. В аэрокосмической промышленности изделиями являются такие сложные технические объекты, как космические и ракетные комплексы, космические корабли и аппараты, летательные аппараты (ЛА) и их системы, отдельные приборы и др. [2].

Несмотря на существенный прогресс последних двух десятилетий, по-прежнему наблюдаются значительные трудности, связанные с внедрением существующих автоматизированных PLM-систем. Главная проблема заключается в том, что вопреки декларируемым целям полного охвата жизненного цикла, на практике использование программных средств PLM до сих пор зачастую ограничивается стадией разработки и проектирования. Другой причиной низкой эффективности внедрения PLM-систем является отсутствие единообразных правил моделирования и сопутствующих методик программирования систем. Вследствие того, что в традиционных PLM-системах большая часть знаний содержится в неструктурированном виде, затрудняется отслеживание информации по стадиям жизненного цикла. Это ограничивает доступ к знаниям о каждом отдельном изделии в середине и конце его жизненного цикла и не позволяет передать достаточно информации на стадию проектирования и производства [3].

Знания неизбежно изменяются со временем, поэтому приложения, использующие их, могут стремительно устаревать. Существующие и разрабатываемые системы должны своевременно реагировать на происходящие изменения знаний об изделии в течение его жизненного цикла. В качестве решений проблемы предлагаются следующие: полное или частичное перепроектирование системы, инвестиции в интенсивное и высокозатратное обслуживание или полное прекращение поддержки системы, неизбежно приводящее к ее устареванию. Поэтому уже в процессе разработки PLM-системы необходимо предусматривать возможность изменения знаний в ходе ее эксплуатации и использовать методы, поддерживающие изменения на уровне программной реализации [4].

Сопровождение ЖЦИ аэрокосмической промышленности является сложной задачей вследствие высокого уровня неопределенности, постоянно присутствующего в системе. На практике это означает необходимость своевременного устранения отказов, происходящих в различных узлах с трудно прогнозируемой частотой. Можно выделить семь признаков сложности, на основании которых ИАП следует отнести к сложным системам [5].

1. Наличие связей — ИАП состоит из очень большого количества компонентов, отказы которых независимы друг от друга ввиду их функци-

онального назначения либо взаимного расположения. Задача управления заключается в своевременном выявлении узлов, способных отказать, фактически произошедших отказов, их возможных последствий и обстоятельств, приводящих к возникновению отказов. Кроме этого, обслуживанием ИАП занимаются различные наземные инженерные службы, при взаимодействии которых периодически возникают проблемы. Задача анализа состоит в выявлении человеческого фактора, влияющего на отказы, и в их устранении.

2. Автономность — способность действовать при отсутствии прямых указаний сверху. Хотя комплекты ИАП не имеют физической автономности, они обладают автономностью в плане динамики отказов, а также частичной автономностью при выполнении их технического обслуживания. Задача заключается в выявлении степени автономности каждого компонента и ее влияния на динамику возникновения и устранения отказов.

3. Эмерджентность — динамика отказов системы является следствием проявления непредсказуемых индивидуальных отказов отдельных узлов. Вместо точного прогнозирования ставится задача выявления динамики вероятностей отказов. Если вероятность отказа отдельного узла непрерывно возрастает и в определенный момент превышает допустимое значение, надежнее заменить узел, не дожидаясь окончательного выхода его из строя.

4. Неуравновешенность — ИАП можно представить в виде динамической системы, которая не успевает вернуться в состояние равновесия в промежутки времени между двумя соседними внешними воздействиями. Например, отказавший узел может отличаться по своим рабочим характеристикам от узла, установленного на замену, что может повлиять на возникновение отказов в дальнейшем.

5. Нелинейность — сравнительно малый при прочих обстоятельствах отказ может привести к катастрофическим последствиям в системах ИАП. Задача состоит в своевременном выявлении всех возможных изменений, способных оказать влияние на надежность всего ИАП.

6. Самоорганизация — многие авиационные системы имеют резервные компоненты на случай отказа основных систем. При принятии решений относительно целесообразности замены компонентов необходимо учитывать уже существующие средства поддержки отказоустойчивости.

7. Сопряженность — поскольку отказы зависят от условий эксплуатации и технического обслуживания ИАП, можно представить динамику отказов как функцию от изменения этих условий. Другими словами, процессы возникновения и устранения отказов сопряжены не только друг

с другом, но и с изменяющимися внешними условиями.

Информация об изделии, содержащаяся в PLM-системе нового поколения, должна базироваться не просто на цифровом макете объекта, а на его действующей компьютерной модели, которая должна эволюционировать вместе с реальным изделием, интегрируя в себе знания о требованиях к изделию, о структуре и принципах его функционирования, особенностях эксплуатации, текущем состоянии и т. д. [6].

Новые принципы создания интеллектуальной системы управления ЖЦИ

Для решения поставленной задачи предлагается новый подход к созданию интеллектуальной системы управления ЖЦИ Smart PLM, построенной на принципах сетцентрического управления, мультиагентных технологий, онтологий предметных областей и киберфизических моделей изделий (рис. 1) [7].

Smart PLM представляет собой решение, которое строится «над» традиционными PLM-системами. Выделяется верхний уровень системы, который создается автономными интеллектуальными системами с использованием сервис-ориентированной архитектуры и общей информационной шины предприятия, что обеспечивает интеграцию данных всех подсистем в едином информационном пространстве для достижения заданных целей управления.

Таким образом, вместо одной большой PLM-системы на всех этапах будет строиться адаптивная p2p сеть взаимодействующих через общую шину мультиагентных планировщиков отдельных этапов ЖЦИ, подразделений предприятий или даже сотрудников. Планировщики смогут размещаться на персональных компьютерах, планшетах и сотовых телефонах, обеспечивая со-

гласованную работу в режиме реального времени. При этом впервые станет возможно достижение согласованных результатов на всех этапах жизненного цикла за счет поддержки динамического взаимодействия всех участников. Например, проектирование изделия должно осуществляться с учетом особенностей эксплуатации, а особенности и результаты эксплуатации должны быть доступны проектировщикам.

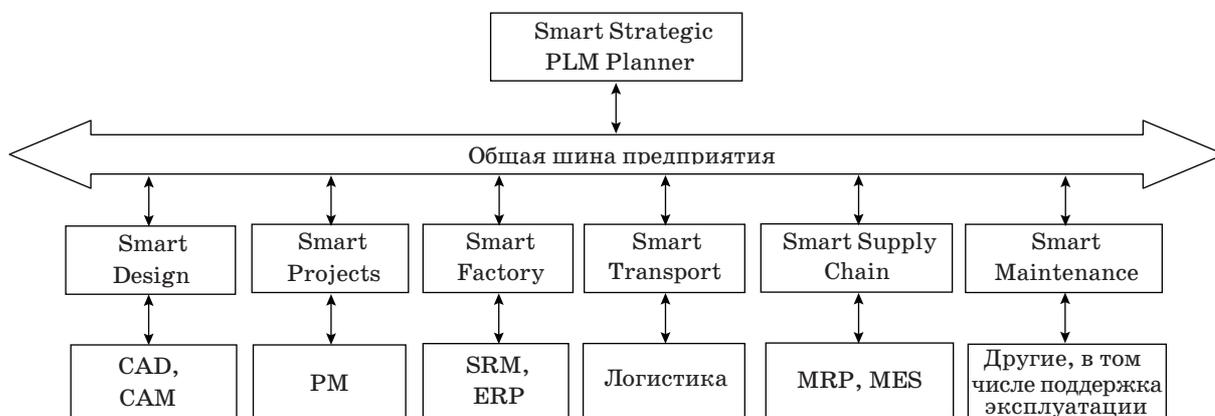
Концепция «сетцентричности» жизненного цикла представляет собой новую систему взглядов на управление, ориентированную на конечный результат и достижение превосходства. Новизна предлагаемого подхода состоит как в использовании интеллектуальных систем управления этапами жизненного цикла, так и в обеспечении адаптивного p2p взаимодействия между основными интеллектуальными системами (к чему не способны традиционные системы), заменяя традиционные каскадные бизнес-процессы на адаптивные p2p взаимодействия систем по принципам «каждый с каждым» и «равный с равным».

Рассматриваемая сетцентрическая интеллектуальная система Smart PLM строится на основе онтологий и мультиагентных технологий, использующих фундаментальные принципы самоорганизации и эволюции, присущие живой природе. Для взаимодействия с человеком используется киберфизическая модель изделий.

Основными системами Smart PLM являются:

1) Smart Strategic PLM Planner — стратегический планировщик, обеспечивающий планирование жизни изделия на большой промежуток времени и координацию между отдельными системами;

2) Smart Design — поддержка принятия решений при проектировании изделий в ходе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), во время которых части изделия самоорганизуются с учетом предлагаемых требований;



■ Рис. 1. Архитектура распределенной интеллектуальной PLM-системы

3) Smart Project — управление проектами НИОКР с поддержкой процессов командного управления в сложных междисциплинарных командах;

4) Smart Factory — оперативное управление цехами производства «точно в срок» и «под заданную стоимость» по целям и событиям в реальном времени;

5) Smart Transport — управление транспортом (грузовиками, РЖД, морскими перевозками и др.);

6) Smart Supply Chain — поддержка цепочек закупок и поставок внешних комплектующих при производстве и ремонтах, техническом обслуживании изделий;

7) Smart Maintenance / Smart Reliability — поддержка эксплуатации изделий, технического обслуживания и ремонтов.

Указанные системы будут интегрироваться с существующими классическими системами и использоваться для поддержки принятия решений и их согласования по методике виртуального «круглого стола» на базе общей шины предприятия/изделия.

При этом будет применен гомеостатический подход, который позволит в рамках многокритериальной оптимизации в реальном времени возвращать текущие планы, нарушаемые непредвиденными событиями, к заданным директивным планам, в первую очередь, по тем критериям, где отклонение является максимальным.

Каждая из указанных систем должна поддерживать работу с моделями знаний предметной области, представленными в виде онтологий на основе семантических сетей классов понятий и отношений, что необходимо для формирования баз знаний, а также поиска и сопоставления вариантов для принятия управленческих решений [8].

Сетецентрический подход к построению системы управления ЖЦИ

В связи с большой сложностью задачи управления ЖЦИ аэрокосмической промышленности предлагается декомпозировать исходную задачу на последовательность локальных оптимизационных задач, решаемых по мере появления событий. Это означает, что структуры плана действий строятся не централизованно, а создаются в разных областях сцены мира агентов, связанных между собой. Такой метод, в отличие от прямых оптимизационных методов или обычных эвристик, основанных на правилах приоритета при централизованном планировании, называется сетецентрическим.

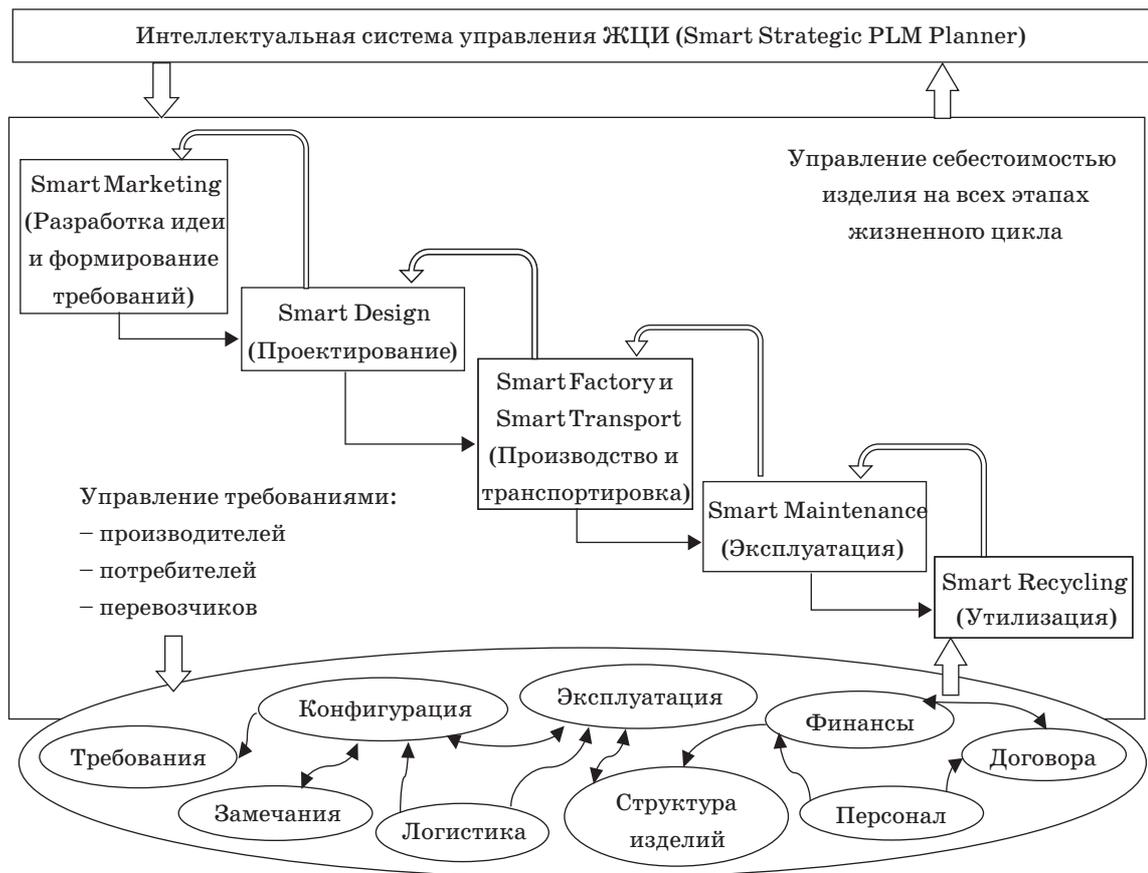
Сетецентрический подход к построению решения для управления ЖЦИ обеспечивает не просто передачу данных между системами, а выработку

согласованных решений в ответ на появление того или иного события. Предполагается, что системы постоянно работают в параллельном и асинхронном режиме, но в случае важных событий, нарушающих ранее принятые ими обязательства, могут обращаться друг к другу с сообщениями типа «Запрос», «Просьба», «Информирование», «Варианты», «Подтверждение», «Встречное предложение» и т. д. [7].

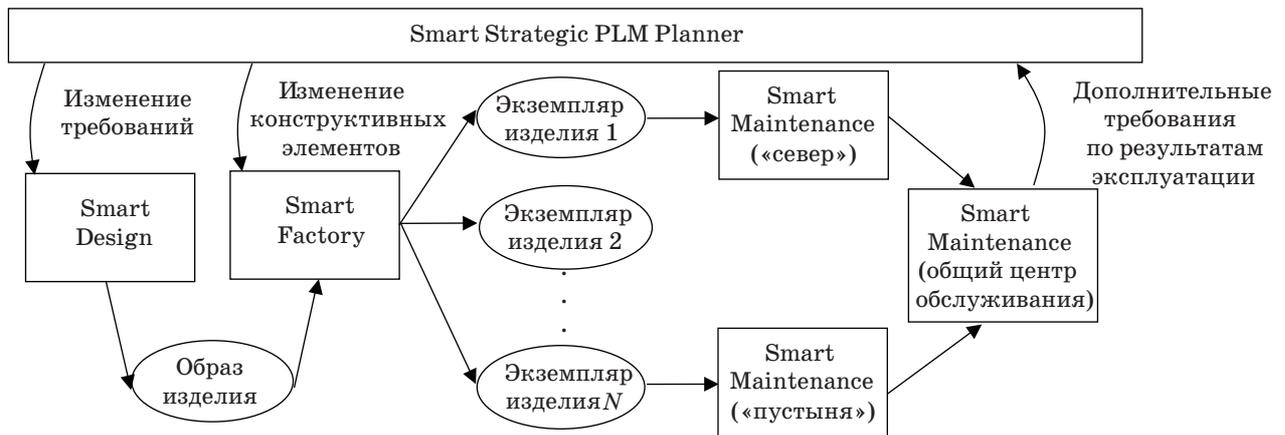
Предлагаемая интеллектуальная система управления ЖЦИ состоит из интеллектуальных подсистем управления его отдельными этапами с изначальной ориентацией на возможность адаптивного построения и согласованной корректировки планов по событиям, поступающим в реальном времени. Согласованность решений отдельных интеллектуальных систем при этом обеспечивается за счет разработки многоуровневой адаптивной р2р сети указанных систем, в отличие от традиционно используемых отношений «ведущий-ведомый» в каскадной модели бизнес-процессов управления предприятиями (рис. 2). Такая архитектура реализует основной принцип сетецентрического подхода — «Решать проблемы настолько локально, насколько возможно, и настолько глобально, насколько требуется». Только в том случае, если не удастся решить проблему в одной из систем, начинается цепная реакция взаимодействий с другими системами, подобная расходящейся волне.

Согласно сетецентрическому подходу, многоуровневая адаптивная р2р сеть интеллектуальных PLM-систем включает систему стратегического планирования в целом на большой горизонт времени и систему оперативного управления, которые совместно обеспечивают согласованное принятие решений на всех стадиях жизни изделия и быструю, адаптивную реакцию на любые непредвиденные события на более короткий горизонт. Это является принципиальным моментом, с учетом того, что пункты проектирования, сборки и технического обслуживания изделия могут находиться на большом расстоянии друг от друга.

Общая схема работы «системы систем» под управлением стратегического планировщика показана на рис. 3. Системы нижнего уровня обеспечивают проектирование изделия (Smart Design), его производство (Smart Factory) и эксплуатацию (Smart Maintenance). Различные центры обслуживания конкретного экземпляра изделия собирают и обрабатывают информацию и статистику отказов, наработку узлов, динамику изменения показателей работы. В случае выхода одного или нескольких параметров за пределы нормативных планировщик передает запрос о возможности изменения либо требований к изделию и его перепроектирования или изменения конструкции, либо особенностей технологического процесса изготовления изделия.



■ Рис. 2. Сетецентрический подход к управлению в распределенной интеллектуальной PLM-системе



■ Рис. 3. Взаимодействие систем в рамках Smart Strategic PLM Planner

В такой системе стратегический планировщик, построив первую грубую версию плана, «сбросит» ее вниз на согласование оперативным планировщикам центров компетенций, которые, спланировав свою работу автономно, начнут переговоры по горизонтали для согласования своих оперативных планов. Успешно созданные «внизу» планы будут взяты в разработку, а воз-

никающие проблемы, где центрам компетенций не удалось договориться, доведены до стратегического планировщика для получения помощи в разрешении конфликтных ситуаций и выделении дополнительных ресурсов. Получив такое разрешение, конфликтующие центры смогут перепланировать свою работу и прийти к соглашению.

Модели и методы для реализации сетецентрического подхода

Система построена на базе мультиагентного подхода [9]. Каждому элементу реальной конструкции и оборудования ставится в соответствие программный агент, выступающий от имени своего элемента. Задачи, возникающие на различных этапах ЖЦИ, должны быть запланированы и затем выполнены в реальном времени. Таким задачам также ставятся в соответствие агенты. При выполнении задач используются разнообразные ресурсы. Все сообщество агентов может быть реализовано в виде динамической сети задач и ресурсов, представляющей собой сеть потребностей и возможностей [10]. Поведение мультиагентных систем не определяется одним детерминированным алгоритмом, а формируется эволюционным путем как результат взаимодействия составляющих ее агентов.

В основе мультиагентной PLM-системы лежит концептуальная модель изделия на основе онтологии, которая состоит из элементов, организованных в системы, где выход одного элемента или системы является входом другого элемента или системы, при этом формируются функциональные связи [11]. Все элементы и системы связаны также пространственными отношениями, по которым можно выявить развитие износа, отказов и аварийных ситуаций. Например, если какой-то элемент начал нагреваться и температура начала повышаться, то по пространственным отношениям можно определить, на работоспособность каких элементов, находящихся рядом, это может повлиять.

Концептуальная модель предполагает, что каждое изделие, исходя из этапов его жизненного цикла, имеет различные характеристики, позволяющие описывать его состояние в каждый момент времени, отслеживать происходящие с ним изменения посредством обработки информации, поступающей из других систем, и осуществлять поддержку принятия решения о необходимости выполнения каких-либо операций над изделием в целях повышения его надежности.

Пример возможной реализации и взаимодействия систем управления ЖЦИ

Пусть имеется концептуальная модель ЛА и среды его эксплуатации, на основе которой можно отслеживать различные ситуации. Так, два ЛА одной серии могут начинать свою жизнь практически идентичными, но вследствие их эксплуатации в различных условиях, различной динамики отказов и периодической замены выходящих из строя узлов и агрегатов их характеристики со временем начнут существенно

отличаться, требуя индивидуальных подходов в техническом обслуживании. Например, один ЛА эксплуатируется в северных регионах с пониженной температурой, а другой ЛА — в южных регионах с повышенной температурой и песчаной почвой. Агенты всех деталей постоянно проверяют условия, в которых они эксплуатируются, вычисляют риски поломки или преждевременного выхода из строя и предлагают действия по обслуживанию или замене детали, что приводит к перепланированию в системе. Если в определенных условиях эксплуатации одна и та же деталь постоянно выходит из строя, эта информация передается в подсистему Smart Design для изменения требований к узлам и условиям их эксплуатации и для запуска процессов перепроектирования.

При наступлении событий агенты деталей активизируются, рассчитывают свои риски и вероятность отказа, затем передают эту информацию агентам соседних деталей, которые в ответ либо смягчают риски, корректируя планы действий, либо усиливают их и передают сообщения своим соседям. Если у ЛА, который эксплуатируется на севере при низких температурах, происходит ускоренная деградация масла, агент масла учитывает температуру внешней среды и продолжительность эксплуатации, предлагая заменить масло раньше, чем при эксплуатации в условиях нормальных температур.

При этом в системе возникает волнообразный процесс расчета вероятностей отказа соседних устройств под влиянием обнаруженной локальной проблемы, развивающийся по связям семантической сети онтологии, и определяются необходимые действия по корректировке ситуации. В системе отображается статистика по возможным рискам, наиболее критичные из них выводятся на первый план (планирование и выработка рекомендаций по ним выполняется в первую очередь), а менее критичные учитываются системой позднее (имеют меньший приоритет при планировании). При этом планирование и возвращение ситуации к равновесию происходит на всех уровнях.

На основании этой информации в системе возможно предсказывать отказы и заранее строить планы по обслуживанию и предотвращению возникновения нештатных и аварийных ситуаций. Анализируя вероятность возникновения проблемы по онтологическим связям и ее распространение на другие системы, можно проследить, как возникающие события влияют на общие характеристики ЛА, и сформировать план по своевременному предотвращению потенциально опасных ситуаций.

Новое решение в плане пользовательского интерфейса заключается в том, что рядом с реальным ЛА постоянно «летит» его компьютерная киберфизическая модель, которая подсказывает,

какие операции необходимо выполнить для обеспечения требуемого уровня надежности. В интерфейсе системы пользователи смогут на основе трехмерной модели ЛА увидеть проблемный элемент или систему, выделенные подсветкой, и проследить критические функциональные, пространственные и другие связи с рассчитанными вероятностями распространения текущей проблемы.

Если при постоянных условиях эксплуатации один и тот же узел постоянно выходит из строя, можно сделать заключение о наличии изъянов в его конструкции. После того как в системе Smart Maintenance сделано такое заключение, вся информация об изделии, условиях его эксплуатации и отказах передается в систему Smart Design, где может оказаться целесообразным осуществить полное или частичное перепроектирование изделия в целях получения на выходе новой модификации, не подверженной столь частым отказам в заданных условиях эксплуатации.

Выработанные решения доступны в системе Smart Design через общую шину стратегического планировщика Smart Strategic Planner, который включается в планирование и функционирование Smart Maintenance при невозможности достижения консенсуса в системе, когда полученные планы противоречат планам и функционированию других систем.

Далее стратегический планировщик направляет соответствующие запросы в различные системы планирования (Smart Design, Smart Maintenance и др.), которые взаимодействуют между собой на основе сетевидного подхода. При этом перестраиваются все планы различных уровней для возвращения ситуации к норме. Система постепенно переходит в новое состояние равновесия, соответствующее новому распределению потребностей и возможностей или новым планам использования ресурсов. Например, необходимо произвести замену отказавшего блока при очередном сеансе технического обслуживания, а если его нет в наличии, требуется срочно доставить новый блок на базу обслуживания и ремонта, изменив планы работ наземных служб по доставке. Нарушение текущих планов, их изменение и корректировка стоят дополнительных временных и денежных затрат, в результате чего должны быть скорректированы стратегические планы и выполняемые работы.

Заключение

Разрабатываемая система может как полностью автономно использоваться, так и интегрироваться с существующими системами управления жизненным циклом, что значительно расширяет рынок сбыта для конечного продукта.

Предлагаемая многоярусная структура распределенной сети взаимодействующих интеллектуальных систем управления жизненным циклом позволит на практике реализовать холонический подход к управлению предприятиями аэрокосмической отрасли, создав такую архитектуру, которая полностью соответствует структуре самого предприятия.

В предлагаемом подходе будет реализовано взаимодействие мультиагентных систем, показывающее коэволюцию самоорганизующихся систем. Создание такого рода новых интеллектуальных систем для перехода к реальному времени при управлении ЖЦИ аэрокосмической промышленности, позволяющих работать в условиях неопределенности и высокой динамики изменений, когда ни динамика будущих отказов, ни условия обслуживания ЛА заранее не известны, когда необходимо согласование бизнес-процессов баз технического обслуживания, находящихся на расстоянии в тысячи километров и в разных часовых поясах, будет достигнуто впервые в мире, заместив устаревшие в этом отношении компоненты традиционных систем, ориентированных на классические «пакетные» формы обработки.

Данный подход обеспечивает такие важные преимущества разрабатываемой системы, как повышение качества и эффективности решений по управлению ЖЦИ, открытость к поэтапному подключению к общей системе новых центров внедрения и эксплуатации, высокую оперативность, гибкость и производительность, надежность и живучесть, масштабируемость и высокий уровень интеграции всей PLM-системы, сокращает расходы на использование и сопровождение системы, а также уменьшает риски ее внедрения.

Ожидается, что результатом проводимых исследований и разработок станет создание целого ряда интеллектуальных систем управления ЖЦИ нового поколения, не имеющих аналогов в мире, обеспечивающих существенный рост в 15–40 % эффективности работы предприятий по управлению изделиями на всех этапах жизненного цикла.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ.

Литература

1. Колчин А. Ф., Овсянников М. В., Стрекалов А. Ф., Сумароков С. В. Управление жизненным циклом продукции. — М.: Анахарсис, 2002. — 304 с.
2. Гореткина Е. В. Что такое PLM? // PCWeek. Russian Edition. 2003. № 34. <http://www.pcweek.ru/industrial/article/detail.php?ID=65311> (дата обращения: 01.12.2014).

3. Краснухин А. А. Team PDM. Система управления жизненным циклом, которую действительно можно внедрить // САПР и графика. 2001. № 7. <http://www.smarteam.ru/publications/article3/article3.htm> (дата обращения: 05.12.2014).
4. Скобелев П. О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии». 2013. № 1. С. 1–32.
5. Rzevski G., Skobelev P. Managing Complexity. — WIT Press, 2014. — 198 p.
6. Судов Е. В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции: Принципы. Технологии. Методы. Модели. — М.: МВМ, 2003. — 240 с.
7. Новая концепция создания интеллектуальных систем управления жизненным циклом на принципах сетцентрического управления, онтологий и мультиагентных технологий / В. И. Баклашов, В. А. Комаров, О. И. Лахин, Е. В. Полончук, П. О. Скобелев, В. Ф. Шпилевой // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1(5). С. 1296–1298.
8. Абрамов Д. В., Андреев В. В., Симонова Е. В., Скобелев П. О. Разработка средств построения и использования онтологий для поддержки процессов принятия решений // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. VII Междунар. конф., Самара, 27 июня–1 июля 2005 г. / СНЦ РАН. Самара, 2005. С. 435–440.
9. Мультиагентные технологии для разработки сетцентрических систем управления/ А. В. Иващенко, О. В. Карсаев, П. О. Скобелев, А. В. Царев, Р. М. Юсупов // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2011. № 3. С. 11–23.
10. Виттих В. А., Скобелев П. О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребителей и возможностей в открытых системах // Автоматика и Телемеханика. 2003. № 1. С. 177–185.
11. Распределенные онтологии и их применение в решении задач интеграции данных/ В. А. Виттих, Д. В. Волхонцев, А. Н. Гинзбург, М. А. Караваев, П. О. Скобелев, О. Л. Сурнин, М. А. Шамашов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. VIII Междунар. конф., Самара, 24–28 июня 2006 г. / СНЦ РАН. Самара, 2006. С. 451–459.

UDC 658.512.6

doi:10.15217/issn1684-8853.2015.1.4

Complexity Theory and Challenges of Aerospace Products Lifecycle ManagementLakhin O. I.^a, Project Manager, lakhin@yandex.ruPolnikov A. S.^b, Analyst, polnikov@smartsolutions-123.ruSimonova E. V.^{a, b}, PhD, Associate Professor, Leading Analyst, simonova@smartsolutions-123.ruSkobelev P. O.^{a, b}, Dr. Sc., Tech., Professor, Chief Executive Officer, petr.skobelev@gmail.com^aSoftware Engineering Company «Smart Solutions», 17, Moskovskoe St., 443013, Samara, Russian Federation^bSamara State Aerospace University, 34, Moskovskoe St., 443086, Samara, Russian Federation

Purpose: All the existing product lifecycle management systems use different techniques and their knowledge is poorly structured. For that reason, newly introduced systems are used only partially and often just at the early stages of the product lifecycle. A novel network-centric approach to complex aerospace product lifecycle management is discussed in this article. **Methods:** An intelligent network-centric system Smart PLM (which is a superstructure over the traditional PLM systems) is proposed. Smart PLM consists of interconnected systems of control over separate lifecycle stages in which all the occurring problems are solved locally whenever possible and globally otherwise. **Results:** A network-centric architecture concept was developed for control over traditional systems of product lifecycle management. Benefits of the proposed approach were shown on the example of complex aerospace products. The basic components of Smart PLM were described along with their interaction mechanism. The decision was justified to use ontologies for the domain area description and multi-agent approach for building up a demand-resource network for the scheduling of all stages of the product lifecycle. Logical architecture of a distributed multi-agent system was designed. The developed models, methods and algorithms of decision-making support in separate system components help to provide an appropriate response to any events which occur through all the stages of the aerospace products lifecycle. **Practical relevance:** The developed system architecture can be applied either autonomously or through the integration in a single complex with the existing PLM systems. The proposed adaptive approach to the lifecycle management of aerospace products will help to increase their reliability and reduce the operating costs through timely interaction and considering the requirements of all the participants at various lifecycle stages.

Keywords — Product Lifecycle, Lifecycle Management, PLM-System, Decision-Making Support, Adaptive Management, Network-Centric Architecture, Multi-Agent Technology, Strategic Scheduling, Domain Ontology, Cyber-Physical Model.

References

1. Kolchin A. F., Ovsiannikov M. V., Strekalov A. F., Sumarokov S. V. *Upravlenie zhiznennym tsiklom produktsii* [Management of the Product Lifecycle]. Moscow, Anakharsis Publ., 2002. 304 p. (In Russian).
2. Goretkina E. V. *Chto takoe PLM?* [What is PLM?]. *PCWeek. Russian Edition*, 2003, no. 34(400). Available at: <http://www.pcweek.ru/industrial/article/detail.php?ID=65311> (accessed 1 December 2014).
3. Krasnukhin A. A. *Team PDM. Sistema upravleniia zhiznennym tsiklom, kotoruiu deistvitel'no mozhno vnedrit'* [Team PDM. Lifecycle Management System, Which Can Be Really Integrated]. *SAPR i grafika*, 2001, no. 7.

- Available at: <http://www.smarteam.ru/publications/article3/article3.htm> (accessed 5 December 2014) (In Russian).
4. Skobelev P. O. Intelligent Systems for Real Time Resource Management: Principles, Experience and Perspectives. *Prilozhenie k teoreticheskomu i prikladnomu nauchno-tehnicheskomu zhurnalu «Informacionnye Tehnologii»*, 2013, no. 1, pp. 1–32 (In Russian).
 5. Rzevski G., Skobelev P. Managing Complexity. WIT Press, 2014. 198 p.
 6. Sudov E. V. *Integrirrovannaya informatsionnaya podderzhka zhiznennogo tsikla mashinostroitel'noi produkcii: Printsipy. Tekhnologii. Metody. Modeli* [Integrated Information Lifecycle Support of Engineering Products: Principles. Technology. Methods. Models]. Moscow, MVM Publ., 2003. 240 p. (In Russian).
 7. 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 Samarshogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 1(5), pp. 1296–1298 (In Russian).
 8. Abramov D. V., Andreev V. V., Simonova E. V., Skobelev P. O. *Razrabotka sredstv postroeniia i ispol'zovaniia ontologii dlia podderzhki protsessov priniatiia reshenii* [Development of Tools for Ontologies Design and Application for Decision-Making Processes Support]. *Trudy VII Mezhdunarodnoi konferentsii «Problemy upravleniia i modelirovaniia v slozhnykh sistemakh»* [Proc. VII Intern. Conf. “Problems of Control and Modeling in Complex Systems”]. Samara, 2005, pp. 435–440 (In Russian).
 9. Ivaschenko A. V., Karsaev O. V., Skobelev P. O., Tzarev A. V., Usupov R. M. Multi Agent Technology for Development of Network-Centric Control Systems. *Izvestiya IuFU. Tekhnicheskii nauki*, 2011, no. 3(116), pp. 11–23 (In Russian).
 10. Vittikh V. A., Skobelev P. O. Multi-Agent Interaction Models for Constructing the Needs-and-Means Networks in Open Systems. *Avtomatika i Telemekhanika*, 2003, no. 1, pp. 177–185 (In Russian).
 11. Vittikh V. A., Volkhontsev D. V., Ginzburg A. N., Karavaev M. A., Skobelev P. O., Surnin O. L., Shamashov M. A. *Raspredeleennye ontologii i ikh primenenie v reshenii zadach integratsii dannykh* [Distributed Ontologies and their Application to Data Integration Problems Solving]. *Trudy VIII Mezhdunarodnoi konferentsii «Problemy upravleniia i modelirovaniia v slozhnykh sistemakh»* [Proc. VIII Intern. Conf. “Problems of Control and Modeling in Complex Systems”]. Samara, 2006, pp. 451–459 (In Russian).

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Научная электронная библиотека (НЭБ) продолжает работу по реализации проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы регистрируетесь на сайте НЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющих в базе данных НЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.