

# ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ПРОТОТИПА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ СОГЛАСОВАННЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

О. И. Лахин<sup>а</sup>, руководитель направления

Е. В. Симонова<sup>а, б</sup>, канд. техн. наук, доцент, ведущий аналитик

П. О. Скобелев<sup>б</sup>, доктор техн. наук, профессор

<sup>а</sup>ООО «Научно-производственная компания «Разумные решения», Самара, РФ

<sup>б</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (национальный исследовательский университет), Самара, РФ

**Постановка проблемы:** при проектировании сложных изделий аэрокосмической отрасли специалистам необходимо постоянно соотносить свои проектные решения с различными требованиями и искать такие варианты, при которых конфигурация изделия была бы оптимальна по зачастую конфликтным целевым показателям (массе, стоимости, надежности и т. д.). Однако существующие системы управления жизненным циклом изделий не позволяют проектировщикам и конструкторам оперативно и эффективно решать поставленные задачи. В работе предлагается подход к созданию интеллектуальной системы поддержки принятия согласованных решений при проектировании сложных изделий аэрокосмической промышленности на основе мультиагентных технологий. **Методы:** при проведении исследований использован метод согласования требований и формирования конструкции изделия, базирующийся на принципах виртуального «круглого стола», с применением мультиагентных технологий, предметных онтологий и сетцентрического подхода. **Результаты:** разработаны подход к созданию интеллектуальной системы поддержки принятия согласованных решений при проектировании сложных изделий аэрокосмической промышленности на основе мультиагентных технологий; логическая архитектура мультиагентной системы; модели, методы и алгоритмы поддержки принятия решений при проектировании изделий. Приведен пример модели мира агентов виртуального «круглого стола». **Практическая значимость:** системы, разработанные на основе предлагаемого подхода, могут быть как полностью автономными, так и интегрированными в единый комплекс с существующими PLM-системами. Использование предлагаемого подхода позволит повысить качество и эффективность процессов проектирования изделий аэрокосмической промышленности за счет применения новых моделей, методов и алгоритмов согласованного управления требованиями и конфигурациями изделий, снизить трудоемкость, стоимость и сроки начального проектирования и перепроектирования объектов при изменении требований.

**Ключевые слова** — проектирование изделия, малоразмерные космические аппараты, поддержка принятия решений, мультиагентная технология, виртуальный «круглый стол», онтология предметной области.

## Введение

В современном мире все больше возрастает сложность разрабатываемых изделий, причем одновременно растет число непредвиденных событий, связанных, например, с изменениями требований к конфигурациям изделий в ходе согласования проектных решений. При этом на рынке усиливается конкуренция, продукцию необходимо производить за существенно меньшие сроки и с ограниченными бюджетами, в то время как принципы и методы управления проектированием сложных изделий остаются прежними и не выдерживают испытаний новыми требованиями.

При проектировании сложных изделий аэрокосмической отрасли, например малоразмерных космических аппаратов (МКА) [1], специалистам необходимо постоянно сверять свои проектные решения с различными требованиями и искать такие решения, при которых конфигурация изделия была бы оптимальна по не всегда совпа-

дающим целевым показателям (массе, стоимости, надежности и т. д.). Каждое такое проектное решение, принимаемое отдельным инженером в команде проекта, может улучшать значение одного целевого показателя, но одновременно сильно ухудшать другие показатели для других членов команды. При этом сложность изделий настолько высока, что любая малейшая ошибка или несогласованность действий специалистов на стадии проектирования может затем привести к большим издержкам на этапе производства и испытаний, а также последующей эксплуатации.

Для предотвращения подобных ситуаций предлагается интеллектуальная система поддержки принятия согласованных решений при проектировании МКА (ИСПП Smart Design), которая входит в состав сетцентрической интеллектуальной системы Smart PLM [2, 3]. В системе Smart Design агенты составных частей сложного изделия, например будущего МКА, автоматически самоорганизуются в конструкцию на основе

знаний о требованиях и доступных конфигурациях готовых составных частей и модулей или оперативно реконфигурируются в ходе проектирования при изменении заданных требований, доступности модулей или выявлении конфликтов по требованиям.

Система Smart Design позволит повысить качество и эффективность процессов проектирования изделий аэрокосмической промышленности за счет применения новых моделей, методов и алгоритмов согласованного управления требованиями к изделиям и конфигурациям изделий.

### **Задача согласованного проектирования и краткий обзор существующих решений**

Согласованное проектирование МКА в полипредметных междисциплинарных командах экспертов и специалистов представляет собой очень сложную, актуальную и значимую задачу. Ее решение еще более осложняется в условиях, когда требования изменяются заказчиком или выявляются непосредственно в ходе проектирования. Это приводит к многократным итерациям и согласованиям решений, что существенно повышает стоимость и увеличивает сроки проектирования [4].

В статье предлагается подход к решению данной задачи на основе моделирования процессов выработки, принятия и согласования коллективных решений при работе экспертов за «круглым столом». Главной инновационной идеей предлагаемого подхода является адаптивное управление требованиями к МКА и их конфигурации за счет самоорганизации элементов МКА из агентов отдельных готовых компонент по заданной спецификации требований.

Такая самоорганизация МКА позволит не только быстро получать и гибко доводить первую версию в интерактивном режиме «вручную», но и в дальнейшем при изменении любых требований автоматически проследивать взаимосвязи, перепроектировать и переконфигурировать МКА. Данный подход может быть реализован в интеллектуальной системе поддержки принятия согласованных решений при проектировании МКА на основе мультиагентных технологий [5–7].

В настоящее время на рынке программных систем существует множество продуктов для управления требованиями и конфигурациями: Siemens PLM, MKS Integrity, eDevTECH interGREAT Requirements Studio, Blueprint Requirements Center и др. [8–12]. Программные продукты в этой области предлагают как крупные зарубежные компании (IBM — IBM Rational DOORS, Microsoft — Team Foundation Server, PTC — Requirements Link), так и некоторые отечественные компании (например, «Логос»). Продукты различаются как

функциональностью, так и набором визуальных инструментов, позволяющих упростить работу по управлению требованиями (включая ввод электронных таблиц, отображение рисунков в требованиях и т. д.).

Однако для МКА признанным лидером является программный продукт SDS голландской компании одноименного названия (Software Development System), предназначенный для параллельного проектирования (Concurrent Engineering), интеграция с которым ИСПП Smart Design может дать существенный синергетический эффект.

Все рассмотренные зарубежные и отечественные системы позволяют управлять требованиями к изделиям в процессе их жизненного цикла. Однако ни одна из представленных на рынке программного обеспечения систем не обладает функциональностью по адаптивному управлению требованиями и самоорганизации конструкции в ответ на непредвиденные события с учетом оперативного изменения требований или выявления невозможности их выполнения. Ни одна из известных систем не поддерживает слежение за изменением требований и их влиянием на конструкцию изделия в реальном времени. Таким образом, рассмотренные продукты являются, в основном, «учетными» системами, отличающимися только набором интерфейсных решений. Существующий рынок систем по управлению требованиями не предлагает продукта, обладающего интеллектуальной составляющей для поддержки принятия решений инженерами и позволяющего выполнять согласованный анализ и реализацию изменений в конструкции изделия в реальном времени.

Предлагаемая система Smart Design будет выгодно отличаться от аналогов, позволяя пользователям описывать требования к структуре и характеристикам изделия, а также автоматически, путем самоорганизации частей, формировать наиболее рациональную конфигурацию изделия по заданным параметрам и показателям, а в дальнейшем рассчитывать нагрузку, надежность и т. д.

### **Предлагаемый метод согласования требований и формирования конструкции изделия с использованием принципов виртуального «круглого стола»**

Предлагаемый метод междисциплинарного (полипредметного) коллективного принятия согласованных решений по проектированию МКА позволит более эффективно достигать результатов, связанных с выработкой облика конструкции, сбалансированного по многим критериям, путем моделирования процесса переговоров, выявления конфликтов и нахождения компромис-

сов между экспертами-специалистами из различных дисциплин за «круглым столом».

При этом каждый из участников команды экспертов-специалистов, обладающий своей точкой зрения на предмет (например, элемент конструкции возможной конфигурации МКА), формулирует свое предложение «по кругу», исходя из индивидуальных 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 принятых ограничений, общих для команды.

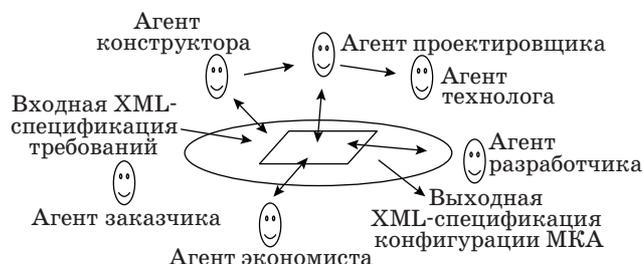
Такая модель виртуального «круглого стола» развивает предложенные ранее методы сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей) для управления ресурсами [13, 14] и позволяет решать задачи согласованного удовлетворения междисциплинарных полипредметных потребностей за счет имеющихся возможностей, что может быть использовано для поддержки процессов принятия решений при взаимодействии заказчиков, проектировщиков, конструкторов, технологов, экономистов и других специалистов, проектирующих МКА.

### Модель мира агентов виртуального «круглого стола»

Рассмотрим модель мира агентов виртуального «круглого стола» и работу предлагаемого метода на упрощенном примере управления процессом проектирования МКА, в котором участвуют инженеры различных специализаций по составным частям и модулям МКА.

Предлагаемая модель (логическая архитектура) мира агентов проектирования МКА может включать агентов заказчика, проектировщика, конструкторов по различным компонентам, технолога, экономиста и других специалистов (рис. 1).

Каждый из агентов имеет возможность обращаться в свою базу данных за подготовленными заранее типовыми решениями. Для агентов предлагается общее информационное пространство виртуального «круглого стола» — сцена мира конструкции МКА, построенная как семантиче-



■ Рис. 1. Архитектура виртуального «круглого стола»

ская сеть понятий и отношений, откуда агенты могут считывать требования и текущие решения и где могут размещать свои предложения.

Метод согласований может быть реализован посредством специальных протоколов переговоров агентов виртуального «круглого стола», которые представляют собой типовые структуры данных для выработки и сохранения вариантов решений и процедуры синхронизации действий указанных агентов. В рамках предлагаемых процедур каждый из агентов участвующих сторон может давать свои предложения и отзываться их, подстраиваясь под общие ограничения и находя ближайшую замену своим вариантам, возможно, «проигрывая» по некоторым собственным критериям по сравнению с предыдущим вариантом, но добываясь общего выигрыша по заданным показателям для системы в целом.

При появлении новых требований (изменений существующих) за «круглым столом» собираются рабочие группы агентов различных специалистов или подразделений (по сути, имеющихся потребностей или возможностей), которые пытаются договориться (передоговориться) о наилучшей конфигурации МКА.

В случае необходимости, например, при наличии нескольких трудно сопоставимых альтернативных решений, агенты могут выходить и на реальных экспертов-представителей подразделений с предложениями уточнить или изменить предпочтения и ограничения, выбрать наиболее подходящие варианты, если они одинаково приоритетны, но агенты не могут сами сделать необходимый выбор, предложить другие решения и т. д.

Управлять процессом поиска решения за «круглым столом» может специальный агент-модератор, который предоставляет право голоса всем агентам по определенной дисциплине (по очереди, по кругу, по приоритету самым неудовлетворенным и т. д.), т. е. «ведет собрание», обеспечивая общие функции организации «круглого стола», инициирует и останавливает агентов, фиксирует решение, предоставляет текущий статус процесса поиска и согласования решений всем пользователям с доступом через веб-браузер или сотовый телефон и т. д.

На вход системы подается исходная XML-подобная спецификация требований к созданию МКА, представляющая собой построенный на основе онтологии предметной области набор вложенных выражений (по типу скобочных) с указанием рекомендуемых значений, далее вводятся изменения требований. Эта спецификация может «вбрасываться» агентом модератора на общий «круглый стол» для начала обсуждения всеми агентами.

Агенты проектировщика, конструктора, технолога, разработчика, экономиста и другие кон-

куруют между собой и кооперируются, стремясь одновременно удовлетворить всем внутренним критериям представляемых ими служб и не выйти за рамки заданных общих ограничений конфигурации МКА.

Агент конструктора (агент заказа лучшей конструкции для МКА) по введенной спецификации требований находит общие требования к конфигурации МКА, имеющие к нему прямое отношение, и выбирает в своей базе данных ближайшие лучшие аналоги. В ответ все другие агенты сразу или по очереди должны предложить лучшие конструктивные решения своих компонент, которые они могут выбрать из собственных баз данных, сопоставлять и анализировать зависимости и, в конечном счете, принимать решение, выкладывая его в качестве своего предложения-рекомендации на общий «круглый стол». Полученные решения могут быть различными по конструкции и отличаться ценой, надежностью, мощностью, весом, стоимостью сопровождения и другими показателями. Эти параметры немедленно пересчитываются ближайшими агентами на «круглом столе» и определяют «входные данные» для следующих агентов-участников, которые работают в зависимости от принятого регламента «круглого стола» (могут начать работать немедленно либо по кругу и т. п.).

В определенных случаях каждый агент может одновременно запустить на согласование несколько вариантов конструкции, которые далее будут конкурировать за общее решение, в результате чего образуется набор параллельно работающих «круглых столов», реализующих альтернативные варианты решений. Такая технология взаимодействия может разворачиваться рекурсивно в глубину и воспроизводиться на любом другом уровне конструкции или служб технологий, экономистов и т. д.

Например, если проектируется новый МКА для решения задач дистанционного зондирования Земли и агент камеры, считывая требования к разрешению и сроку жизни камеры, выбирает самую новую мощную камеру с максимальной разрешающей способностью, то, возможно, это решение инициирует агента источника питания, который, пересчитав нагрузку, изменит прежнее решение и произведет выбор более мощного источника питания. Это решение, в свою очередь, активирует агента конструкции в целом, который будет вынужден увеличить массу и габариты МКА, что также увеличит стоимость изготовления и запуска конструкции и снизит ее окупаемость. Во избежание нарушения заданных экономических ограничений агент экономики потребует снизить стоимость, что, в свою очередь, приведет к рассмотрению возможности снижения массы и габаритов других частей из-

делия для компенсации изменений в камере либо к пересмотру исходных ограничений. При этом за инженерами-проектировщиками всегда будут оставаться наиболее важные и сложные решения, но возникающие рутинные конфликты будут разрешаться в автоматическом режиме, что освободит время для творческой работы.

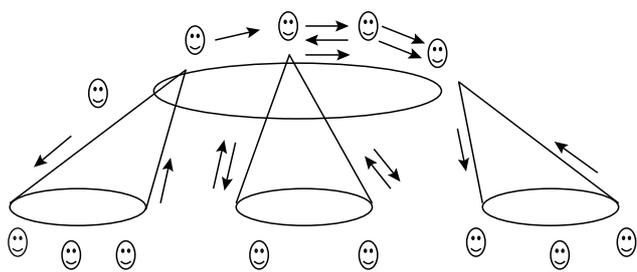
Агенты, при необходимости, смогут инициировать дополнительные «круглые столы» на своем уровне компетенции между своими внутренними ресурсами, которые также могут конкурировать или кооперироваться друг с другом, например, по выбору типа камеры, источника питания и т. д.

Таким образом, двигаясь, например, по часовой стрелке, выбирая и согласовывая решения на различных уровнях, агенты будут доходить до обнаружения конфликтов, т. е. нарушения каких-либо важных критериев и ограничений. При этом агент, обнаруживший отклонение, попросит своих коллег остановиться на некоторое время, оценить, кто внес максимальный вклад в нарушение данного важного ограничения и убедить этого агента вернуться на предыдущие шаги и найти иное решение в интересах общего целого, минимально отклоняясь от ранее выбранных им параметров. Например, агент экономиста может увидеть выход за общие ограничения по стоимости после принятого решения по мощности камеры. В этом случае он оценит превышение и попросит агента камеры найти ближайшее альтернативное решение, которое будет на указанную сумму меньше полученного ранее.

Если после пересмотра решения не получается войти в зону допустимых решений, то выполняется поиск следующего агента, имеющего запас по данному критерию, например, агента источника питания, которому также направляется предложение уменьшить стоимость решения, и т. д. Иными словами, в момент выхода за общие ограничения процесс согласований, идущий по часовой стрелке, «останавливается», и в обратном направлении выполняется поиск того агента, благодаря которому система вышла за заданные ограничения. Найденный агент должен первым пересмотреть решение для выхода из конфликта. Если решение не найдено, определяется следующий конфликт, процесс продолжается до тех пор, пока согласованное решение не будет найдено, после чего «вращение» «круглого стола» для согласования решений продолжается с места его приостановки.

Пример таких продвижений «вперед» и «назад» по многоуровневым «круглым столам» схематично показан на рис. 2.

Заметим, что конструкция изделия при этом будет самоорганизовываться на основе требова-



■ Рис. 2. Пример схемы продвижений и возвратов за виртуальным «круглым столом»

ний, что позволит и в дальнейшем менять ее при изменении требований.

На первом этапе разработок данная технология найдет наибольшее применение для типовых компонент, объединяемых в различные конструкции (конфигурации) изделия.

### Заключение

В статье поставлена задача согласованного проектирования изделий и рассмотрен подход к разработке интеллектуальной системы поддержки принятия согласованных решений при проектировании МКА на основе мультиагентных технологий. Данный подход позволяет начать

разработку методов решения поставленной задачи на основе применения мультиагентных технологий для согласования требований и формирования конструкции изделия с использованием принципов виртуального «круглого стола».

Реализация предлагаемого подхода в первом прототипе интеллектуальной системы поддержки принятия согласованных решений при проектировании МКА и построении модели мира агентов виртуального «круглого стола» будет способствовать:

- повышению качества и эффективности проектирования МКА;
- снижению трудоемкости, стоимости и сроков начального проектирования и перепроектирования объектов при изменении требований;
- созданию расширяемой корпоративной базы знаний предприятия;
- оперативной и гибкой согласованной реакции при изменении требований;
- полной прозрачности решений с возможностью их аудита;
- созданию прорывной инновационной системы интеллектуального проектирования МКА, не имеющей конкурентов на зарубежном и отечественном рынках.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ.

### Литература

1. Макриденко Л. А., Волков С. Н., Ходненко В. П., Золотой С. А. Концептуальные вопросы создания и применения малых космических аппаратов // Вопросы электромеханики. 2010. Т. 114. С. 15–26.
2. 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. Шпилевой // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1(5). С. 1296–1298.
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. doi:10.15217/issn1684-8853.2015.1.4
4. Комаров В. А., Кременецкая М. Е., Соллогуб А. В., Филатов А. Н. Модели оценки ускорения проектно-конструкторских работ в наукоемком машиностроении за счет распараллеливания итерационных процессов разработки // Вестник СГАУ. 2010. № 4(24). С. 224–231.
5. Rzevski G., Skobelev P. Managing complexity. — WIT Press, 2014. — 198 p.
6. 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.
7. Скобелев П. О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени // Онтология проектирования. 2012. № 1(3). С. 6–38.
8. Судов Е. В., Левин А. И., Давыдов А. Н., Барабанов В. В. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России/ НИЦ «Прикладная Логистика». — М., 2002. — 349 с.
9. 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.
10. Судов Е. В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции: Принципы. Технологии. Методы. Модели. — М.: МВМ, 2003. — 240 с.
11. Колчин А. Ф., Овсянников М. В., Стрекалов А. Ф., Сумароков С. В. Управление жизненным циклом продукции. — М.: Анахарсис, 2002. — 304 с.
12. Краснухин А. А. SmarTeam (Team PDM). Система управления жизненным циклом, которую действи-

тельно можно внедрить // САПР и графика. 2004. № 7. <http://www.sapr.ru/main/misc/articleread.asp?id=1820> (дата обращения: 15.01.2015).

13. Скобелев П. О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. 2002. № 6. С. 45–61.

14. Андреев В. А., Виттих В. А., Батищев С. В., Скобелев П. О. и др. Методы и средства создания открытых мультиагентных систем для поддержки процессов принятия решений // Изв. Академии наук. Теория и системы управления. 2003. № 1. С. 126–137.

UDC 658.512.6

doi:10.15217/issn1684-8853.2015.2.43

### Prototype Intelligent System of Coordinated Decision-Making Support for Small Spacecraft Design on the Basis of Multi-Agent Technologies

Lakhin O. I.<sup>a</sup>, Project Manager, [lakhin@yandex.ru](mailto:lakhin@yandex.ru)

Simonova E. V.<sup>a, b</sup>, PhD, Associate Professor, Leading Analyst, [simonova@smartsolutions-123.ru](mailto:simonova@smartsolutions-123.ru)

Skobelev P. O.<sup>b</sup>, Dr. Sc., Tech., Professor, [petr.skobelev@gmail.com](mailto:petr.skobelev@gmail.com)

<sup>a</sup>Software Engineering Company «Smart Solutions», 17, Moscovskoe St., 443013, Samara, Russian Federation

<sup>b</sup>Samara State Aerospace University, 34, Moskovskoe St., 443086, Samara, Russian Federation

**Purpose:** Developers of complex aerospace products need to constantly match their technical solutions with all kinds of requirements, looking for the optimal product configuration meeting the performance targets (weight, cost, reliability, etc.) which often conflict with each other. However, the available product lifecycle management systems do not allow the developers and engineers to solve all the problems quickly and efficiently. This paper suggests a new approach to creating an intelligent system of coordinated decision-making support in complex aerospace product design based on multi-agent technologies. **Methods:** We used the method of requirement coordination and product design formation based on the principles of a virtual “round table” with the use of multi-agent technologies, subject ontologies and network-centric approach. **Results:** A multi-agent technology approach is developed for complex aerospace product design to create an intelligent system of coordinated decision-making support. Logical architecture of such a multi-agent system is elaborated, along with decision-making models, methods and algorithms. For the model of virtual “round table” agents, an example is provided. **Practical relevance:** Systems based on the suggested approach can be either stand-alone or integrated into a unified complex with the existing PLM systems. Using this approach along with its new models, methods and algorithms will help to increase the quality and efficiency of aerospace industry product design. It will also reduce the workload, cost and time of the initial design and possible redesign of the objects.

**Keywords** — Product Design, Small Spacecrafts, Decision-Making Support, Multi-Agent Technology, Virtual “Round Table”, Domain Ontology.

#### References

- Makridenko L. A., Volkov S. N., Khodnenko V. P., Zolotoi S. A. Concept Issues of Creating and Implementing Small Space Vehicles. *Voprosy elektromekhaniki* [Problems of Electromechanics], 2010, vol. 114, pp. 15–26 (In Russian).
- 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).
- Lakhin O. I., Polnikov A. S., Simonova E. V., Skobelev P. O. Complexity Theory and Challenges of Aerospace Products Lifecycle Management. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2015, no. 1, pp. 4–12 (In Russian). doi: 10.15217/issn1684-8853.2015.1.4
- Komarov V. A., Kremenetskaia M. E., Sollogub A. V., Filatov A. N. Evaluation Models of Acceleration of Design-and-Engineering Works in Knowledge-Based Engineering Due to Concurrency of Iterative Development Processes. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta*, 2010, no. 4(24), pp. 224–231 (In Russian).
- Rzevski G., Skobelev P. Managing Complexity. WIT Press, 2014. 198 p.
- Skobelev P. O. Intelligent Systems for Real Time Resource Management: Principles, Experience and Perspectives. *Prilozhenie k teoreticheskomu i prikladnomu nauchno-tekhnicheskomu zhurnalu « Informacionnye Tehnologii»*, 2013, no. 1, pp. 1–32 (In Russian).
- 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).
- Sudov E. V., Levin A. I., Davydov A. N., Barabanov V. V. *Kontseptsia razvitiia CALS-tekhologii v promyshlennosti Rossii* [Concept of Development of CALS-Technologies in Russian Industry]. Moscow, NITs “Prikladnaia Logistika” Publ., 2002. 349 p. (In Russian).
- 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 produktii) v aviastroenii* [CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) in Aircraft Industry]. Moscow, MAI Publ., 2002. 340 p. (In Russian).
- Sudov E. V. *Integrirovannaia informatsionnaia podderzhka zhiznennogo tsikla mashinostroitel’noi produktii: Printsipy. Tekhnologii. Metody. Modeli* [Integrated Information Lifecycle Support of Engineering Products: Principles. Technology. Methods. Models]. Moscow, MVM Publ., 2003. 240 p. (In Russian).
- Kolchin A. F., Ovsianikov M. V., Strelakov A. F., Sumarokov S. V. *Upravlenie zhiznennym tsiklom produktii* [Management of the Product Lifecycle]. Moscow, Anakharsis Publ., 2002. 304 p. (In Russian).
- Krasnukhin A. A. SmarTeam (Team PDM). Lifecycle Management System, Which Can Be Really Integrated. *SAPR i grafika*, 2004, no. 7. Available at: <http://www.smartteam.ru/publications/article3/article3.htm> (accessed 15 January 2015).
- Skobelev P. O. Open Multi-Agent Systems for Real-Time Information Processing in Decision-Making Processes. *Autometriia* [Autometria], 2002, no. 6, pp. 45–61 (In Russian).
- Andreev V. A., Vittich V. A., Batishchev S. V., Skobelev P. O. Methods and Means of Creating Multi-Agent Systems for Decision-Making Support. *Izvestiia Akademii nauk. Teoriia i sistemy upravleniia* [Journal of Computer and Systems Sciences International], 2003, no. 1, pp. 126–137 (In Russian).