

# МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТАЯЗЫКОВ

Г.Г. Куликов, А.Ю. Сапожников, А.А. Кузнецов, А.С. Маврина

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия

**Введение.** В настоящее время организация цифрового производства промышленных предприятий, производящих сложную наукоемкую продукцию, затрудняется неоднородностью семантических данных, разрозненностью программных комплексов, требует единой интегрированной платформы управления данными. **Цель исследования.** Рассмотреть системный подход формирования метаархитектуры информационной платформы для исследуемой проблемной области с противоречивыми (априори неопределёнными) отношениями. **Материалы и методы.** Требуется формирование и применение определённой последовательности метаязыков системного моделирования, языков высокоуровневого программирования по правилам иерархии порождающих грамматик Хомского и семантической логики (онтологии) исследуемой проблемной области. Это обеспечивает последовательное редуцирование семантических свойств проблемной области в их синтаксические представления информационной системы. Например, для системного моделирования бизнес-процесса согласования конструкторско-технологической документации по CALS-методологии необходимо использовать математические методы, методы системной инженерии и средства PLM-системы Teamcenter. **Результаты.** В работе предложен концептуальный подход для построения и развития предметно-ориентированной метаархитектуры цифровой платформы единого информационного пространства (платформы) (ЕИП). Показано, что для исключения возникающих противоречий в проблемной области, в системе электронного документооборота, необходимо проектировать прямые и обратные модели «рабочих процессов» (Workflow). Приводятся результаты анализа существующих CASE-средств для их эффективной интеграции с PLM-системой Teamcenter. **Заключение.** Предложенная методология системного моделирования расширяет применение метаархитектуры цифровой модели ЕИП, позволяет оценить эффективность программного комплекса.

*Ключевые слова:* метаязыки, формализм теории категорий, информационная платформа, стандарт системной инженерии, PLM-система, Teamcenter, системное моделирование бизнес-процессов, создание рабочего процесса, кроссплатформенное программирование.

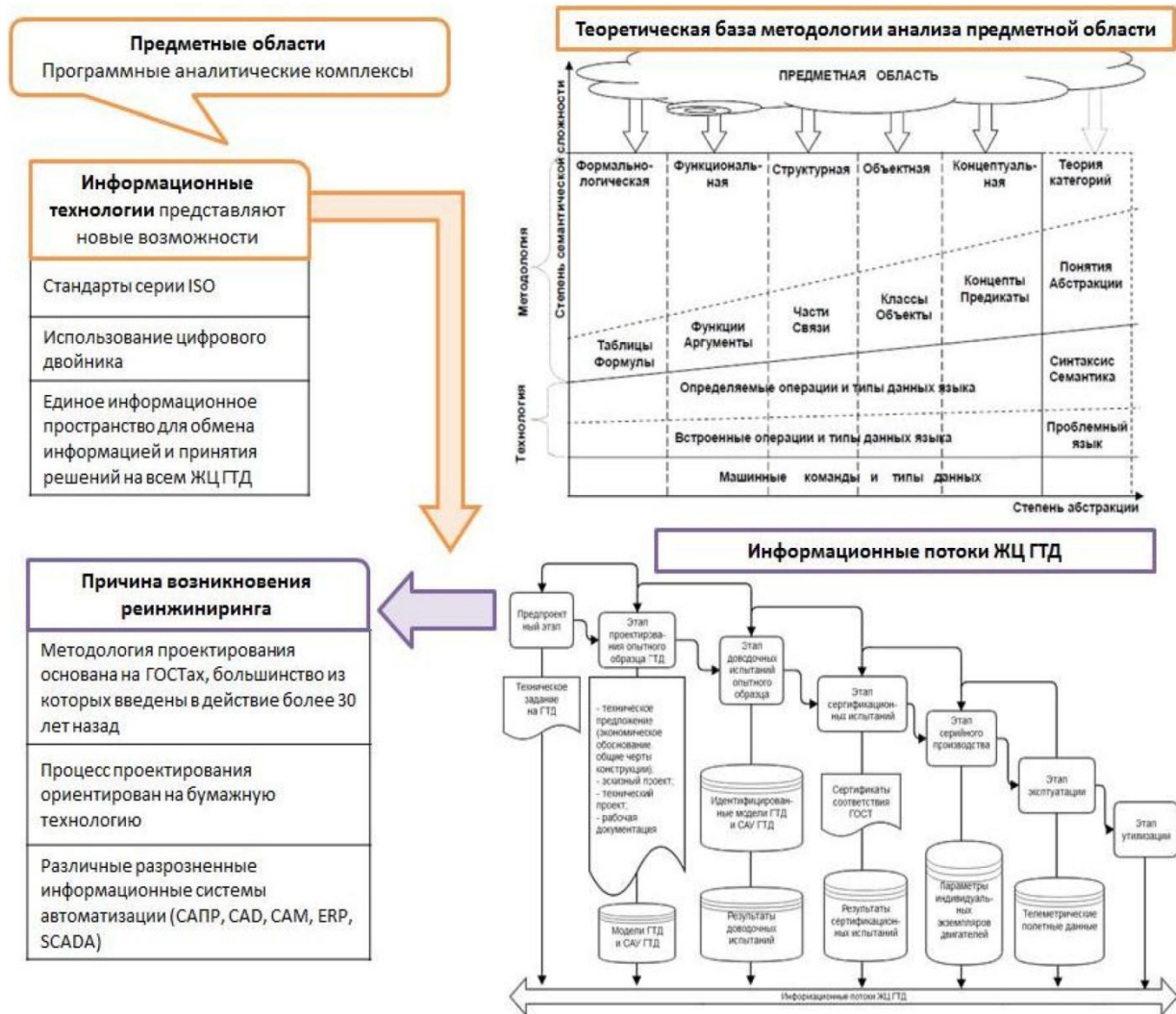
## Введение

Стандарты системной и программной инженерии определяют прежде всего архитектуру информационной платформы для представления (описания) концепции этапов и процессов в отношении жизненного цикла систем, созданных человеком [1].

Задачи управления деятельностью по созданию систем любого масштаба и назначения сталкиваются с проблемой обработки противоречивых, разнородных данных. Растет тенденция увеличения количества написанных программных систем для однородных процессов предприятия.

На данный момент существует множество задач управления проблемной области, множество программных систем (компонентов), появляется проблема выбора или адаптации программного средства (ПС) и возможности комплексного использования этих программных средств в форме аналитического программного комплекса (АПК). Таким образом, возникает задача представления предметной области, ПС и АПК в обобщённом жизненном цикле (рис. 1) [2, 5].

Современные условия, в которых работают наукоемкие машиностроительные предприятия, требуют организации цифрового производства [5, 7]. Это обуславливает рост сложности программного комплекса, увеличивается число выполняемых задач и любая ранее выданная информация может быть запрошена повторно. В условиях семантической неоднородности, неточности и противоречивости данных возникает необходимость интеграции всех данных в единое цифровое информационное пространство.



**Рис. 1. Факторы, определяющие современные проблемы реинжиниринга программно-аналитического комплекса**  
**Fig. 1. Factors that determining modern problems of software and analytical complex reengineering**

Необходимо отметить, что семантическая модель исследуемой предметной области априори содержит отношения противоречия. Для формализации возможных противоречий необходимо использовать универсальное свойство – логические квадраты Декарта. Отношения противоречий, определённые с помощью универсального свойства, не обязательно существуют, но если существуют, то определённы с точностью до структурного изоморфизма. Для устранения таких потенциальных противоречий проф. В.В. Антоновым предложено дополнять логическую структуру модели предметной области управленческими структурными связями. Таким образом, строится структура открытой непротиворечивой метамодели цифровой предметной области. Предлагается двухэтапная процедура: во-первых, осуществлять поиск противоречивых квадратов; во-вторых, компенсировать выявленные противоречия путём достраивания метамодели до кибернетической системы управления с обратными связями.

На рис. 2 по аналогии с [4] приведена схема формирования множеств для квадрата Декарта и его декомпозиция в терминах формальной логики и теории категорий для единого цифрового информационного пространства (ЕИП).

Решение данной проблемы также требует обобщённого применения современных математических методов теории категорий [3], теории (стандартов) системной инженерии, например ISO15288 и др. [1].

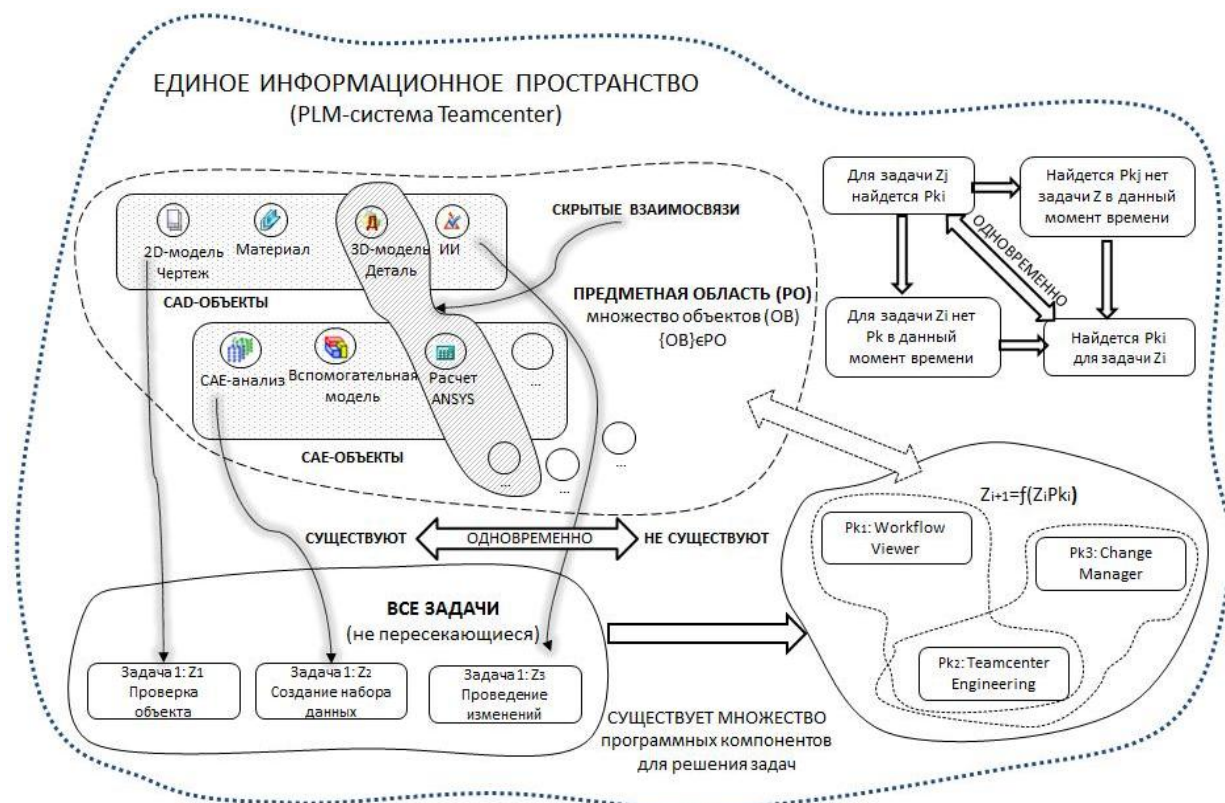


Рис. 2. Схема формирования множества квадрата Декарта и его декомпозиция для ЕИП  
Fig. 2. Scheme of Descartes square set formation and it is decomposition for the UIS

### 1. Концептуальный подход к решению проблемы

Формализация знаний о целенаправленной деятельности в какой-либо исследуемой предметной области с помощью формируемой последовательности метаязыков начинается прежде всего с формы онтологического описания (семантическая модель).

Задача построения семантической модели ЕИП, определяемого логикой квадрата Декарта (см. рис. 2), формирует иерархию порождающих метаязыков (ЕС, язык задач, метаязыки формального моделирования и программирования и т. д.).

Для примера представим модель «Рабочий процесс согласования ЭКД» в форме онтологии на естественном языке. «...это последовательный традиционный маршрут бумажного документа – подлинника. При выявлении ошибки ЭКД возвращается разработчику. В результате имеет место множество итераций. То есть в процессе проверки ЭКД возникают противоречивые (внештатные) ситуации, которые требуют принятия управленческого решения, в некоторых случаях требуется изменение или даже реинжиниринг ранее разработанного маршрута бизнес-процесса...».

С точки зрения системной инженерии на следующем этапе формализации бизнес-процесса, содержащего большое количество объектов с внутренними и внешними взаимосвязями, целесообразно использовать CASE-инструменты с встроенными формальными метаязыками. Для рассматриваемого применения PLM-системы Teamcenter необходимо выделить внутренний метаязык для дальнейшего моделирования исследуемого рабочего процесса. Отметим, что данный метаязык должен формализовать описание в пространстве задач и непосредственно в среде PLM-системы.

### 2. Требования к метаязыку на основе анализа специфики предметной области

Для описания бизнес-процессов в настоящее время разработаны десятки методологий, такие как SADT (IDEF0, IDEF3), DFD, UML, ARIS, BPMN и многие другие [9–13, 17].

**Методология SADT** на базе программных средств IDEF доведена до BPMN-технологии, автоматизирующей все этапы CASE, от описания предметной области до исполняемого приложения. Например, BPMN–RUNA, PEGE, ARIS и др.

**Методология моделирования бизнес-процессов ARIS** (Architecture of Integrated Information Systems) – в основе лежит гибкий язык моделирования eEPC (extended Event Process Chains), являющийся расширением языка EPC.

**Язык графического описания UML** (Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования) – язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения. UML Activity Diagram часто используется в качестве инструмента моделирования бизнес-процессов, а также логики сценария вариантов использования программных продуктов.

**Стандарт BPMN.** Главная цель стандарта [11] – это обеспечение наглядной нотацией описания для разных категорий пользователей: от бизнес-аналитиков до руководителей и обычных пользователей, которые используют бизнес-процессы. Есть пять типов элементов в BPMN: данные, элементы потоков, зоны ответственности, соединяющие элементы, артефакты.

При автоматизации каждого процесса выполняются следующие действия: определение данных модели, создание форм, создание бизнес-правил, подтверждение ресурсов, интеграция, исполнение.

Для оценки стандарта воспользуемся шкалой, предложенной в [10]. Оценка по заданному критерию выбирается от 0 до 2, где 0 – полное несоответствие критерию, а 2 – полное соответствие. Для подсчета общей оценки возможностей каждому из критериев был назначен вес, равный 1, в случае, если критерий носит положительный характер, или –1 – в случае отрицательного характера критерия.

С точки зрения соответствия моделей бизнес-процессов нотации рабочего процесса в Teamcenter по выбранным критериям наиболее удобной является методология BPMN (см. таблицу).

**Оценка языковых средств для моделирования бизнес-процессов**  
Evaluation of language tools for business process modeling

Показатель	Вес	SADT	DFD	ARIS	UML	BPMN
Доступность для понимания	1	1	2	1	2	2
Наглядность модели	1	2	2	1	2	2
Однотипность элементов описания и управления	1	1	1	1	1	1
Разделение на роли	1	1	1	1	0	2
Моделирование сценариев изменения свойств объектов во времени	1	1	0	0	1	2
Возможность добавления атрибутов	1	1	0	0	0	1
Избыточность	–1	1	0	1	0	0
Суммарный бал		8	6	5	6	10

### 3. Пример расширения функционала рабочего процесса в Teamcenter

Рассмотрим существующий бизнес-процесс согласования электронной конструкторской документации (рис. 3) на машиностроительном предприятии [8]. Цифрами (от 1 до 15) обозначена последовательность прохождения электронной конструкторской документации (ЭКД) по бизнес-процессу между службами и согласующими лицами, принимающими решения (ЛПР).

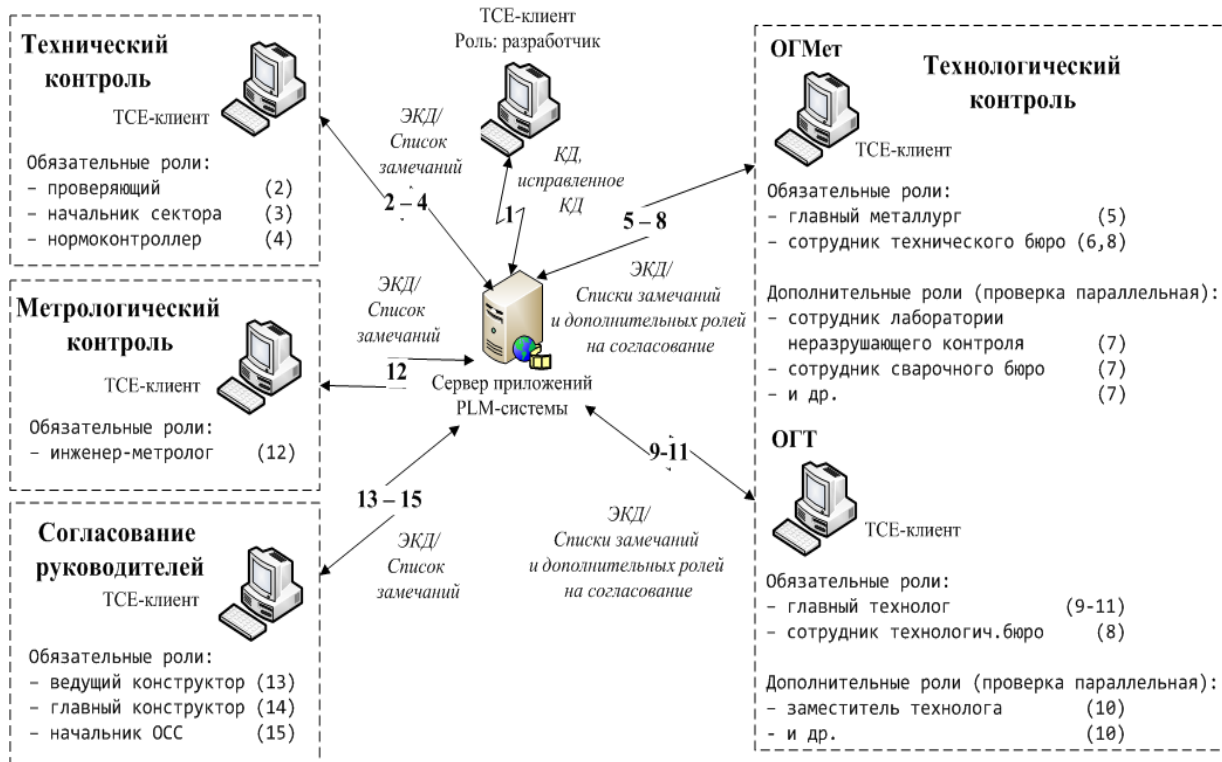


Рис. 3. Мнемосхема существующего бизнес-процесса в PLM-системе  
Fig. 3. Mnemonic diagram of an existing business process in a PLM-system

При его реинжиниринге была создана новая модель в нотации BPMN, в которой выделены функции для автоматизации (рис. 4).

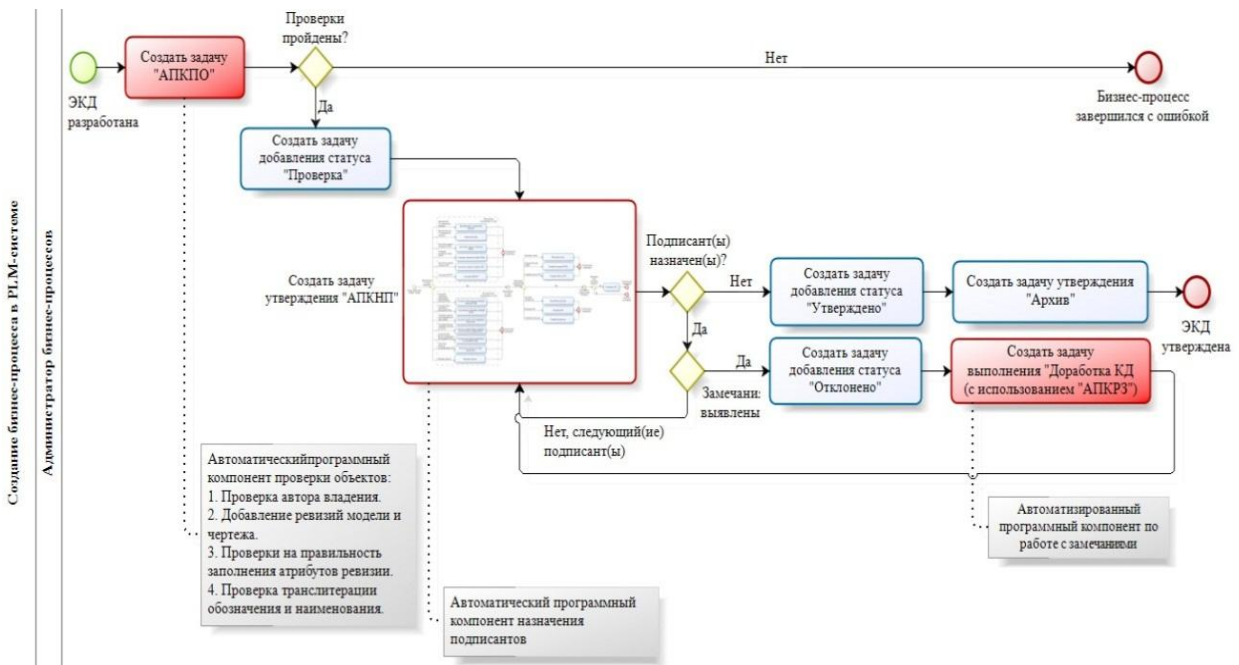


Рис. 4. Фрагмент модели модернизированного бизнес-процесса в нотации BPMN  
Fig. 4. Fragment of a modified business process model in BPMN notation

## Информатика и вычислительная техника

Автоматический программный компонент [1] проверки объектов (АПКПО) предназначен для проверки автора объекта, добавления ревизии объектов и т. д.

Автоматический программный компонент (АПКНП) служит для определения служб, отвечающих за проверку технических требований, и автоматизированного назначения подписантов.

Автоматизированный программный компонент по работе с замечаниями (АПКРЗ) предназначен для формирования и ранжирования замечаний, выданных службами при проверке объектов.

Компоненты АПКПО и АПКНП написаны на языке программирования C++ [11], компонент АПКРЗ разработан на Java [6, 16] с использованием среды разработки IDE Eclipse [18].

На рис. 5 приведена схема разработанного программного комплекса в составе четырехуровневой архитектуры Teamcenter [14, 15]. Такая архитектура позволяет оптимально распределить нагрузку между сервером и клиентом.

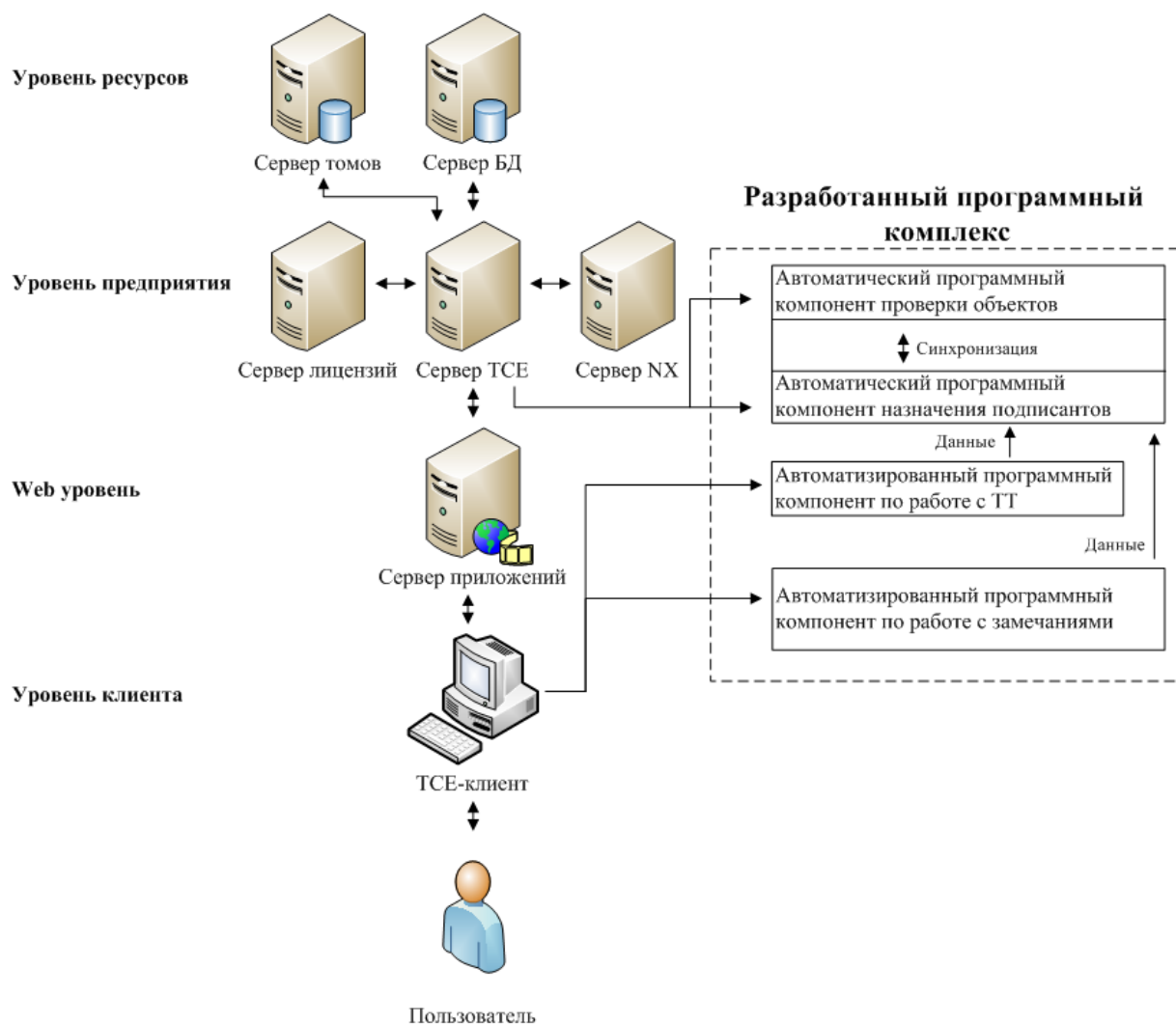


Рис. 5. Компоненты ПК в составе Teamcenter  
Fig. 5. Components of the software complex in architecture Teamcenter

Схема модернизированного бизнес-процесса с разработанными программными компонентами представлена на рис. 6. Отличительными особенностями процесса являются: проверка объекта в Teamcenter, параллельная отправка ЭКД в службы, выбор пула подписантов, модуль замечаний.

Как видно из мнемохсемы рис. 6, теперь согласование ЭКД происходит всего в 5 этапов. На рис. 7 показан модернизированный рабочий процесс в менеджере «Конструктор рабочих процессов» в PLM-системе Teamcenter.

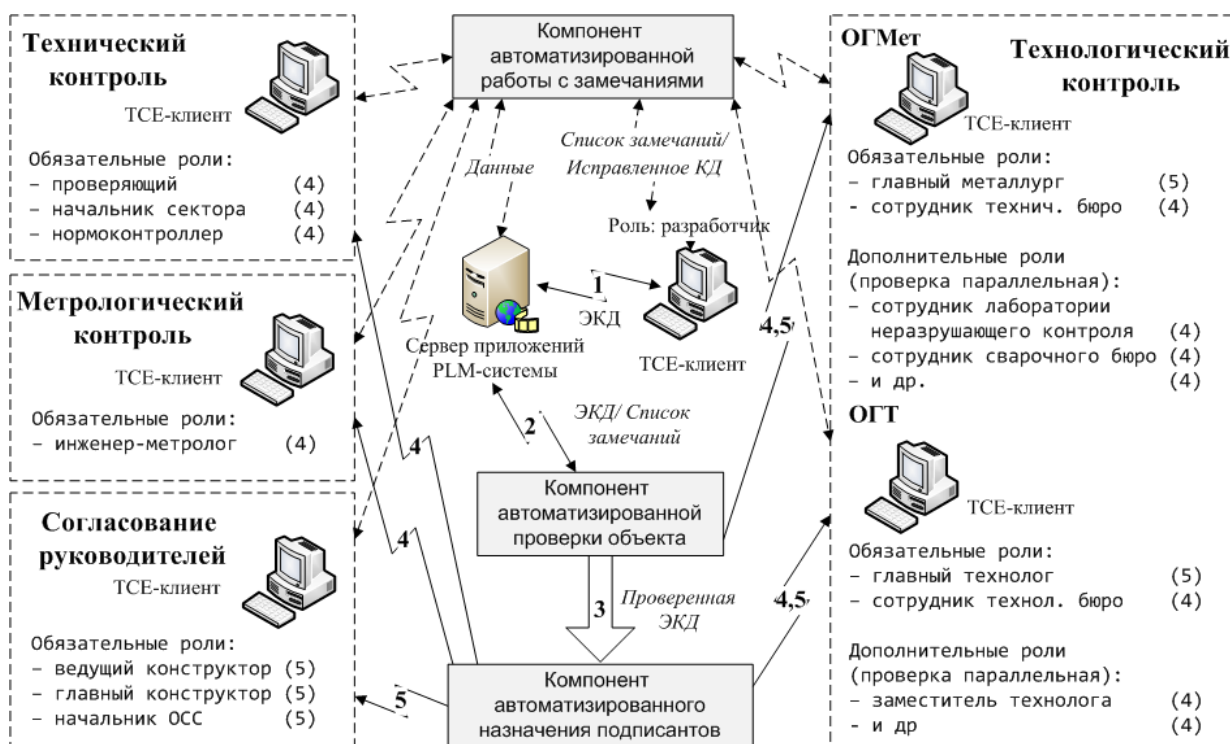


Рис. 6. Фрагмент бизнес-процесса с программными компонентами, реализованными в PLM-системе  
Fig. 6. Fragment of a business process with software components implemented in the PLM-system

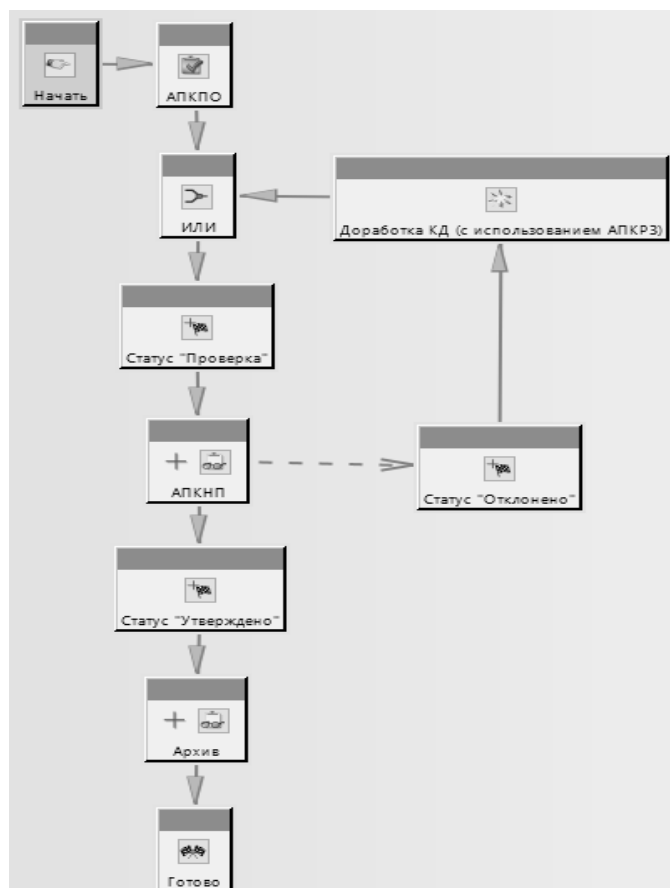


Рис. 7. Рабочий процесс в менеджере «Конструктор рабочих процессов»  
в PLM-системе Teamcenter  
Fig. 7. Workflow in the PLM-system "Workflow Designer"

### Выводы

1. Предложен концептуальный подход для построения и развития предметно-ориентированной метаархитектуры цифровой модели ЕИП (платформы) на основе анализа множества информационных объектов с их непротиворечивыми и противоречивыми отношениями по логике квадрата Декарта.

2. Интеграция последовательности указанных метаязыков позволяет сформировать терминальный алфавит и формальную грамматику, ориентированные на исследуемую цифровую проблемную область, так как редакторы применяемых метаязыков, как правило, содержат встроенные средства для определения словаря данных и онтологий моделей в форме глоссария.

3. Рассмотрен прикладной аспект исследуемой цифровой области на примере PLM-системы Teamcenter – согласование ЭКД. Приведены результаты анализа существующих CASE-средств для их эффективной интеграции с PLM-системой Teamcenter. Обоснована эффективность применения CASE BPMN.

4. Предложенная методология системного моделирования, ориентированная на исследуемую проблемную область, позволяет повысить эффективность развития (расширения области применения) PLM-системы Teamcenter за счет применения кроссплатформенных языков программирования (C++, Java и т. д.).

### Литература

1. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 System and software engineering – System life cycle processes.
2. Антонов, В.В. Формализация предметной области с применением инструментов, поддерживающих стандарты / В.В. Антонов, Г.Г. Куликов, Д.В. Антонов // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16, № 3 (48). – С. 42–52.
3. Хомский, Н. Язык и проблема знания / Н. Хомский // Вестник МГУ. Сер.: Филология. – 1996. – Вып. 6. – С. 157–185.
4. Подход к формированию структуры самоорганизующейся интеллектуальной системы в форме декартово замкнутой категории (на примере проектирования информационной аналитической программной системы) / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.Р. Фахруллина, Л.Е. Родионова // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 27. – С. 49–67.
5. Загитова, А.И. Система поддержки жизненного цикла технического объекта на основе агентных технологий / А.И. Загитова, Н.В. Кондратьева, С.С. Валеев // Вестник УГАТУ. – 2018. – Т. 22, № 2 (80). – С. 113–121.
6. Казарин, С.А. Среда разработки Java-приложений Eclipse (ПО для объектно-ориентированного программирования и разработки приложений на языке Java): учеб. пособие / С.А. Казарин, А.П. Клишин. – М., 2000. – 77 с.
7. Калянов, Г.Н. CASE-технологии. Консалтинг в автоматизации бизнес-процессов / Г.Н. Калянов. – 3-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 320 с.
8. Разработка алгоритма экспертной системы для контроля КД в ЕИП предприятий машиностроения / А.Г. Лютов, В.А. Огородов, А.Ю. Сапожников, А.С. Маврина // Станкостроение и инновационное машиностроение. Проблемы и точки роста: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Уфа: РИК УГАТУ, 2019. – С. 152–159.
9. Моделирование бизнеса. Методология ARIS / М. Каменнова, А. Громов, М. Ферпонтов, А. Шматалюк. – М.: Весть-МетаТехнология, 2001. – 333 с.
10. Бабкин, Э.А. Сравнительный анализ языковых средств, применяемых в методологиях бизнес-моделирования / Э.А. Бабкин, В.П. Князькин, М.С. Шиткова // Бизнес-информатика. – 2011. – № 2 (16). – С. 31–42.
11. Страуструп, Б. Программирование: принципы и практика использования C++.: пер. с англ. / Б. Страуструп. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2011. – 1248 с.
12. Имитационное моделирование бизнес-процессов в системе Bizagi Modeler / И.М. Якимов, А.П. Курпичников, В.В. Мокишин и др. // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 9. – С. 236–239.
13. Управление литейным производством с использованием CALS-технологий [Электронный ресурс] / Г. Г. Куликов [и др.]. – Уфа: УГАТУ, 2012. – 199 с.



14. Teamcenter 11.2. Конструктор процессов. – Siemens PLM Software, 2014. – 772 с.
15. Teamcenter 10. Обзор функциональных возможностей. – Siemens PLM Software.
16. Parlog, N. The Java Module System / N. Parlog. – Manning Publications, 2019. – 440 p.
17. Куликов, Г.Г. Архитектура интегрированной информационной модели для разработки, производства и эксплуатации ГТД совместно с его системой автоматического управления, контроля и диагностики / Г.Г. Куликов, К.А. Ризванов, С.С. Денисова // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. – 2009. – № 3-1. – С. 244–252.
18. Таратынов, М.С. Разработка приложения для управления информационной системой в среде разработки eclipse / М.С. Таратынов, А.И. Егунов, А.А. Аббакумов // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2017. – № 06. – С. 18–20.

**Куликов Геннадий Григорьевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; gennadyg\_98@Yahoo.com.

**Сапожников Алексей Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры ИТ в машиностроении, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; axl\_mail\_box@mail.ru.

**Кузнецов Александр Андреевич**, аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; kuznetsovkr@gmail.com.

**Маврина Анна Сергеевна**, аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; nytk\_008@mail.ru.

*Поступила в редакцию 8 февраля 2020 г.*

DOI: 10.14529/ctcr200205

## DESIGN METHODOLOGY SYSTEM MODELS OF WORKFLOWS USING SUBJECT-ORIENTED METALANGUAGES

G.G. Kulikov, gennadyg\_98@Yahoo.com,  
A.Yu. Sapozhnikov, axl\_mail\_box@mail.ru,  
A.A. Kuznetsov, kuznetsovkr@gmail.com,  
A.S. Mavrina, nytk\_008@mail.ru

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

**Introduction.** Currently, the organization of industrial enterprises digital production that produce complex science-intensive products is complicated by the differently of semantic data, the discrepancy of software systems, and requires a uniform integrated data management platform. **Aim.** The purpose of the article is to consider a systematic approach to the formation of a meta-architecture of an information platform for the researched problem area with contradictory relations (a priori undetermined). **Materials and methods.** It is necessary to apply and to form certain sequence application of system modeling metalanguages, high-level programming according to the hierarchy rules of Chomsky's generating languages and semantic logic (ontology) of the researched problem area. That provides a consistent reduction of the semantic properties of the problem area in their syntactic representations. It is proposed to use mathematical methods, system engineering methods, and Teamcenter PLM software for system modeling of approving design and technological documentation business process to CALS methodology. **Results.** The paper proposes a conceptual approach for

the construction and development of a subject – oriented meta-architecture of the digital platform UIS. It is shown that to exclude existing contradictions in the problem area, it is necessary to design direct and reverse “workflows” models in the digital document management system. The results of the existing CASE methodology analysis for effective integration with the Teamcenter PLM system are presented. **Conclusion.** The system modeling proposed methodology extends the application of the metaarchitecture of the digital model UIS and allows evaluating of the software effectiveness.

*Keywords:* metalanguages, category theory formalization, information platform, system engineering standard, PLM-system, Teamcenter, business process modeling, workflow design, cross-platform programming.

### References

1. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 System and Software Engineering – System Life Cycle Processes.
2. Antonov V.V., Kulikov G.G., Antonov D.V. Formalization of subject domain with usage of standards supporting tools. *Bulletin of USATU*, 2012, vol. 16, no. 3 (48), pp. 42–52. (in Russ.)
3. Chomsky N. [Language and the Problem of Knowledge]. *Bulletin of MSU*, 1996, vol. 6, pp. 157–185. (in Russ.)
4. Kulikov G.G., Antonov V.V., Fakhrullina A.R., Rodionova L.Ye. Approach to Forming the Structure of a Self-Organizing Intellectual System in the Form of a Cartesian Closed Category (on the Example of Designing an Information Analytical Software System)]. *Bulletin of PNRPU. Electrical Engineering, Information Technologies, Management Systems*, 2018, no. 27, pp. 49–67. (in Russ.)
5. Zagitova A.I., Kondratieva N.V., Valeev S.S. [Support System for the Life Cycle of a Technical Object Based on Agent Technologies]. *Bulletin of USATU*, 2018, vol. 22, no. 2 (80), pp. 113–121. (in Russ.)
6. Kazarin S.A., Klishin A.P. *Sreda razrabotki Java prilozheniy Eclipse (Po dlya ob"ektno-orientirovannogo programmirovaniya i razrabotki prilozheniy na yazyke Java)* [Development Environment for Java Applications Eclipse (Software for Object-Oriented Programming and Application Development in Java). Tutorial]. Moscow, 2008, 77 p.
7. Kal'yanov G.N. *CASE-tekhologii. Konsalting v avtomatizatsii biznes-protsessov* [CASE-Technologies. Consulting in Business Process Automation]. Moscow, Hotline-Telecom Publ., 2002, 320 p.
8. Lyutov A.G., Ogorodov V.A., Sapozhnikov A.Yu., Mavrina A.S. [Development of an Algorithm of Expert System for Control of CD in SIS of Machine-Building Enterprises]. *Stankostroenie i innovatsionnoe mashinostroenie. Problemy i tochki rosta: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Machine-Tool Construction and Innovative Machine-Building. Problems and Points of Growth: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Ufa, USATU, 2019, pp. 152–159. (in Russ.)
9. Kamennova M., Gromov A., Ferapontov M., Shmatalyuk A. *Modelirovanie biznesa. Metodologiya ARIS* [Business Modeling. ARIS Methodology]. Moscow, Vest-Metatechnology Publ., 2001, 333 p.
10. Babkin E.A., Knyazkin V.P., Shitkova M.S. Critical Evaluation of Modeling Languages. *Business Informatics*, 2011, no. 2 (16), pp. 31–42. (in Russ.)
11. Stroustrup B. *Programmirovaniye: printsipy i praktika ispol'zovaniya S++* [Programming: Principles and Practice of Using C++]. Moscow, “Williams LLC” Publ., 2011, 1248 p.
12. Yakimov I.M., Kirpichnikov A.P., Mokshin V.V., Aleutdinova G.R., Paigina L.R. [Simulation of Business Processes in the Bizagi Modeler System]. *Bulletin of the Technological University*, 2015, vol. 18, no. 9, pp. 236–239. (in Russ.)
13. Kulikov G.G., et al. *Upravlenie liteynym proizvodstvom s ispol'zovaniem CALS-tekhnologiy* [Management of Foundry Production with the Use of Cals-Technologies]. Ufa, USATU Publ., 2012, 199 p.
14. *Teamcenter 11.2. Workflow designer*. Siemens PLM Software, 2014, 772 p.
15. *Teamcenter 10. An Overview of the Functionality*. Siemens PLM Software.
16. Parlog N. *The Java Module System*. Manning Publications, 2019, 440 p.

17. Kulikov G.G., Rizvanov K.A., Denisova S.S. [Architecture of the Integrated Information Model for the Design, Production and Exploitation of GTE with its Automated Control and Diagnostics System]. *Bulletin SGAU*, 2009, no. 3-1, pp. 244–252. (in Russ.)

18. Taratynov M.S., Yegunov A.I., Abakumov A.A. [Development of an Application for Managing an Information System in the Eclipse Development Environment]. *International Scientific Journal "Innovative Science"*, 2017, no. 06, pp 18–20. (in Russ.)

*Received 8 February 2020*

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Методология проектирования системных моделей рабочих процессов с применением предметно-ориентированных метаязыков / Г.Г. Куликов, А.Ю. Сапожников, А.А. Кузнецов, А.С. Маврина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 45–55. DOI: 10.14529/ctcr200205

#### FOR CITATION

Kulikov G.G., Sapozhnikov A.Yu., Kuznetsov A.A., Mavrina A.S. Design Methodology System Models of Workflows Using Subject-Oriented Metalanguages. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 45–55. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr200205