

ОБРАБОТКА КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТОКОВ РАБОТ В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ¹

А.Н.Афанасьев², М.Е.Уханова³, Н.Н. Войт⁴

В статье рассматривается проблема проектирования конструкторско-технологических потоков работ в условиях крупного предприятия. В качестве примера рассматривалась авторская модель потока работ согласования конструкторской документации (КД) на основе сети Петри. Проведен анализ модели на возможные ошибки проектирования системы.

Введение

В современном мире любое крупное предприятие, требует ускорения конструкторско-технологической подготовки производства для скорейшего вывода продукта на рынок, улучшения качества выпускаемой продукции и снижения себестоимости изготовления. Сегодня невозможно выполнить эти требования без внедрения технологии сквозного проектирования, которое основано на автоматизации этапов проектирования технической документации, систем управления проектами, электронного документооборота и организации единого информационного пространства. Для решения данных проблем разрабатывается много программных продуктов. Это разнообразные CAD\CAE, CAM\CAPP, PDM\PLM и ERP системы. Схема взаимоотношений между этими системами представлена на рис.1.

¹ Исследования поддержаны грантом Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 2.1615.2017/4.6.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 16-47-732152

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-07-01417

² 432027, Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32, УлГТУ, e-mail: a.afanasev@ulstu.ru

³ 432027, Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32, УлГТУ, e-mail: mari-u@inbox.ru

⁴ 432027, Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32, УлГТУ, e-mail: n.voit@ulstu.ru

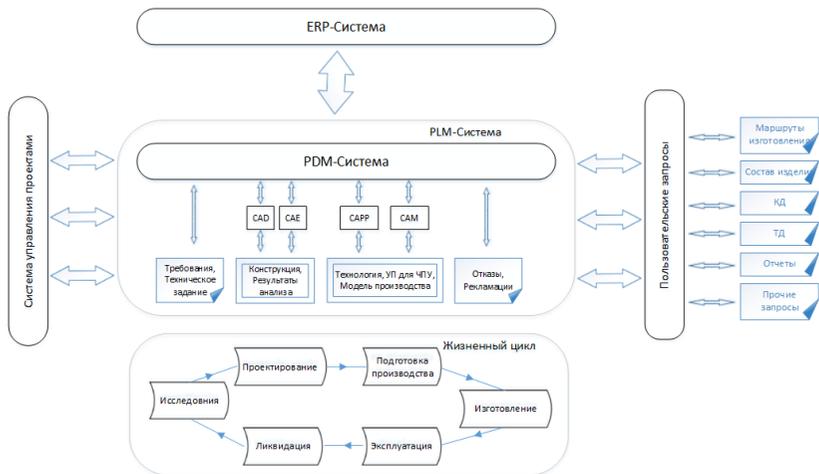


Рис. 1. Схема взаимоотношений CAD, CAM, PLM и ERP систем

Современные САПР включают в себя несколько взаимосвязанных компонентов. Прежде всего, это средства для проектирования конструкторской документации CAD (Computer Aided Design) и средства инженерного расчета CAE (Computer Aided Engineering). Типичными представителями CAD\CAE систем для российского рынка являются Компас-3D, T-Flex CAD, T-FLEX Анализ, Solidworks, Altium Designer, Autodesk Simulation, Unigraphics NX CAE и пр.

Несколько иными являются средства для проектирования технологической документации, которые включают в себя средства автоматизированной разработки техпроцессов CAPP (Computer Aided Production Planning) и средства автоматизированного производства – CAM (Computer Aided Mechanical). Типичными представителями CAPP систем для российского рынка являются Вертикаль, T-FLEX Технология, ADEM TDM, Sprut TP и пр., а CAM систем - Unigraphics NX, Siemens NX, CAM350 и пр.

PDM-системы (Product Lifecycle Management) выступают в качестве единого информационного пространства, в котором хранится разработанная техническая документация и электронная структура изделия. Технология PDM позволяет управлять структурой изделия и

проектами, автоматизировать получение отчетов, организовать многопользовательский доступ к документам в режиме реального времени.

PLM-системы (Product Data Management) представляют технологию управления жизненным циклом изделий. Это программное решение, которое управляет инженерными данными и информацией об изделии, а также обеспечивает управление всеми связанными с изделием процессами на всем протяжении жизненного цикла, начиная от проектирования и производства до завершения эксплуатации. В настоящее время разработано немало таких систем как российского, так и зарубежного производства: Лоцман-PLM, T-Flex-PLM, Siemens-PLM, Lotsia PLM и пр. Подобные PLM-системы очень эффективны для сквозного проектирования и позволяют производить интеграцию конструкторской разработки 3D модели изделия в технологическую подготовку производства, что приводит к уменьшению времени конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП).

ERP-системы (Enterprise Resource Planning System) – это системы планирования и управления производством продукции. Такие информационные системы, используются для контроля и планирования ресурсов, которые применяются на предприятии, закупок и учета сырья, управления производством изделия, планирования заданий цехам. В качестве примера ERP-систем можно привести такие продукты, как Альфа, Lotsia ERP, 1С ERP, SAP.

Ускорение процесса согласования конструкторской и технологической документации основано на создании потоков работ. Внедрение на предприятии технологии потоков работ позволяет формализовать структуру и последовательность процедур прохождения документации. В настоящее время, практически у каждого производителя PLM-системы содержит встроенный блок управления потоками работ, который предназначен для моделирования рабочих процессов и автоматизации управления потоками заданий. Статистика бизнес-эффектов от внедрения технологии потоков работ представлена в таблице 1 [1-14].

Однако, системы управления жизненным циклом продуктов не всегда отвечают потребностям многих крупных предприятий. Поток работ в PLM-системах часто слишком тесно связан с потоком информации и с малой гибкостью для принятия альтернативных решений в режиме реального времени. Эти факторы всегда приводят к чрезмерно продолжительным и дорогостоящим циклам внедрения workflow-систем, реинжиниринга процессов и реконфигурирования системы. Процессы

реинжиниринга не только медленные и дорогостоящее, но часто и невозможные.

Таблица 1. Статистика бизнес-эффектов от внедрения технологии потоков работ сквозного проектирования

Бизнес-эффекты	Доля улучшения
Сокращение количества ошибок в технической документации	На 70 %
Сокращение длительности процессов КТПП	На 20-60 %
Сокращение затрат на подготовку и выпуск технической документации	На 40 %
Сокращение времени на поиск информации	На 40 %
Сокращение времени на согласование документации	В 1,5-7 раз
Сокращение времени вывода изделия на рынок	На 25-75 %
Сокращение доли брака	На 40 %

Более того, большинство workflow-систем позволяют моделировать потоки работ, но в них отсутствуют эффективные методы верификации диаграмматических моделей потоков работ и связанных с ними семантическими составляющими в виде текстов и программных модулей. Данные проблемы будут рассмотрены ниже.

Целью данной статьи является разработка модели согласования конструкторской документации в виде потока работ и анализа этой модели. В качестве основы представления, разработки и сопровождения использованы инструменты проектирования компании АСКОН и РЦ АСКОН-Волга.

1. Особенности конструкторско-технологических потоков работ на крупном предприятии

Производство продукции на каждом предприятии имеет свои особенности [15-20]. Для крупных предприятий характерно:

- большое количество номенклатурных позиций для изготовления;
- сжатые сроки подготовки производства;
- наличие конструкторской документации, как собственной разработки, так и сторонних организаций;
- длительный цикл согласования КД и изменений;
- изготовление продукции по 2D-чертежам;
- большая организационная структура предприятия;

- сложное взаимодействие между подразделениями.

К сожалению, в крупных промышленных организациях, особенно производящих технику специально назначения, не удастся обойтись без 2D-проектирования. В этом случае конструкторами рисуется 3D-модель чисто формально, только для понимания конструкции. Технологи, получая документацию в 2D, разрабатывают собственные 3D-модели, чтобы описать технологию или разработать управляющую программу для станков с ЧПУ. Что приводит к увеличению времени разработки.

Следует отметить, что необходимо как можно ранее обнаружить ошибки на этапе проектирования. Как известно, чем позднее будет обнаружена ошибка, тем она дороже обойдется. Самые дорогие ошибки – это те, которые возникают на этапе производства. Но и на этапе разработки технологии изготовления изделия, ошибки в конструкции приводят к неминуемой задержке конструкторско-технологической подготовки производства, поскольку конструктору потребуется не только разработать изменение изделия, но еще его и согласовать, а это занимает немалое время.

Поэтому все больше возрастает тенденция сквозного проектирования с использованием 3D-моделей и систем управления потоками работ. Пример схемы движения 3D-модели шестерни от проектирования к технологии представлена на рис. 2 [14].

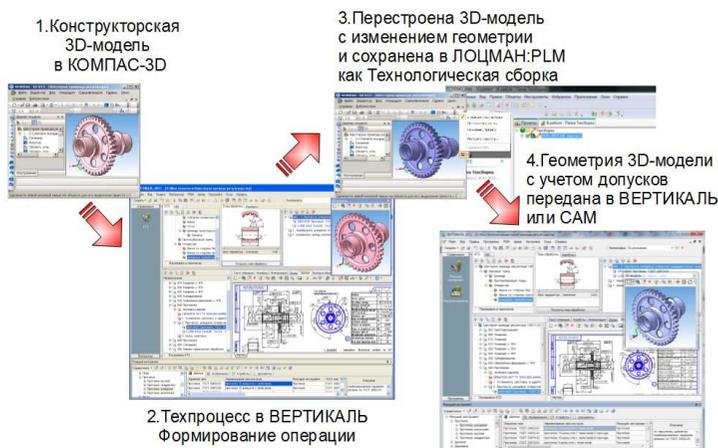


Рис. 2. Схема движения 3D модели от проектирования к технологии

2. Этапы проектирования конструкторско-технологических потоков работ

Проектирование конструкторско-технологических потоков работ предлагается разбить на несколько этапов:

- формальное описание основных бизнес-процессов конструкторско-технологической подготовки производства;
- построение модели потока работ, основанном на формальном описании бизнес процессов;
- анализ свойств разработанной модели конструкторско-технологического потока работ;
- анализ ошибок обработки данных.

Ниже будет более подробно описаны этапы проектирования конструкторско-технологической подготовки производства.

3. Структурно-функциональная схема конструкторско-технологических потоков работ

Одним из условий результативной работы предприятия является эффективное взаимодействие всех составляющих его подразделений и структур. Информационные потоки, отражающие суть производственного процесса, движутся по цепочке.

Для описания конструкторско-технологических потоков работ предприятия выделим основные процессы конструкторско-технологической подготовки производства. На рис. 3 представлена разработанная схема процессов конструкторско-технологической подготовки производства, которая является одним из примеров нормативных потоков проектных работ.

На схеме можно выделить два основных потока работ, отвечающие за конструкторские и технологические процессы подготовки производства. Эти процессы решают разные задачи, но нацелены на успешное освоение нового изделия. Рассмотрим их подробнее.

Конструкторские процессы потоков работ подготовки производства, включают в себя решение следующих задач:

1. Определение требований к новому изделию.
2. Анализ номенклатуры нового изделия.
3. Разработка графика выполнения работ по освоению или разработке нового изделия.
4. Анализ рекламаций от покупателей.

5. Определение требований для устранения неисправности.
6. Разработка и согласование технического задания на проведение работ.
7. Разработка и согласование КД.
8. Разработка и согласование изменений КД.

По завершению конструкторской подготовки производства начинается технологическая подготовка производства. Технологические потоки работ подготовки производства, включают в себя решение следующих задач.

1. Анализ возможности изготовления нового изделия.
2. Анализ оборудования для изготовления нового изделия.
3. Принятие решения о закупке оборудования.
4. Разработка графика выполнения работ по разработке технологии изготовления нового изделия.
5. Разработка маршрута изготовления номенклатуры состава изделия.
6. Разработка технологического процесса изготовления, в том числе и управляющих программ.
7. Определение трудоемкости изготовления изделия.
8. Нормирование основных материалов номенклатуры изделия.
9. Разработка технологической оснастки.

Нетрудно заметить, что потоки работ связаны между собой.

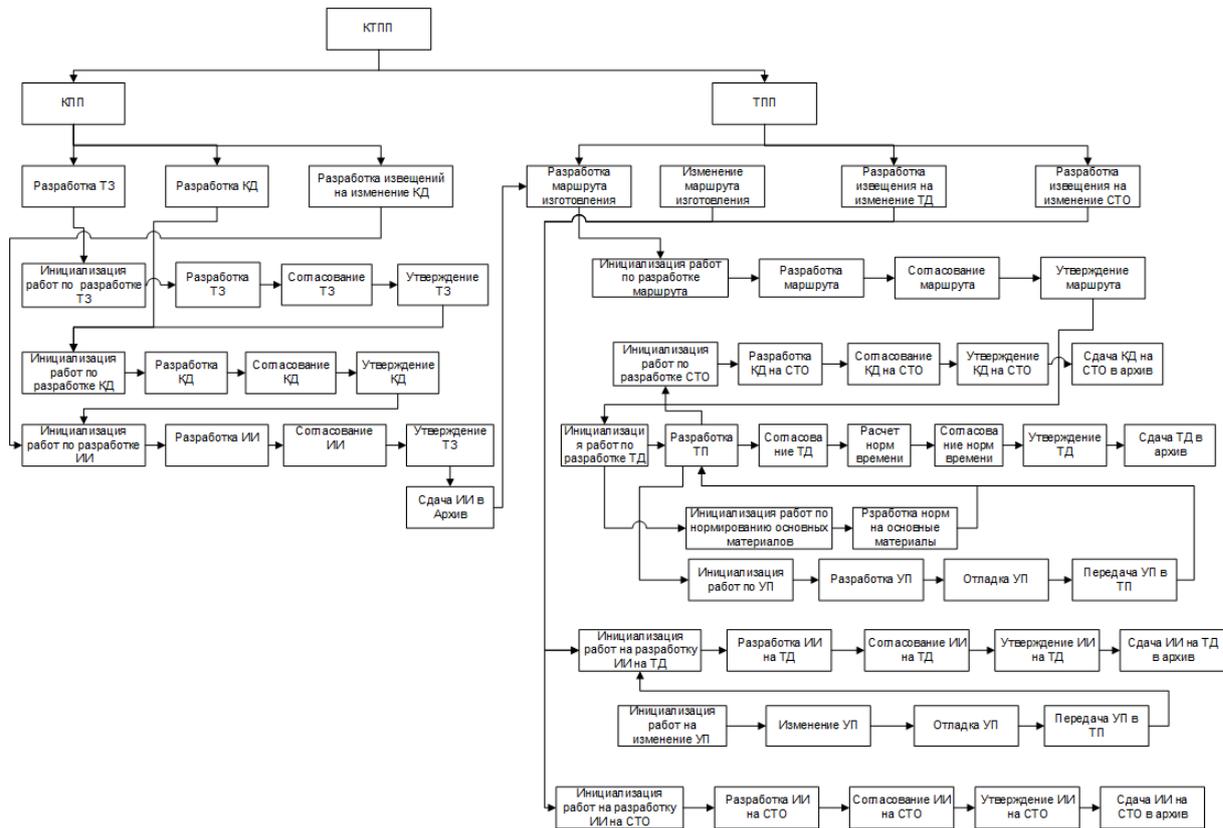


Рис. 3. Схема процессов конструкторско-технологической подготовки производства

4. Моделирование типового потока работ согласования конструкторской документации

Для построения модели конструкторско-технологических потоков работ выделим одну из задач конструкторской подготовки производства: рассмотрим типовую процессную модель согласования конструкторской документации детально.

Чтобы построить модель мы спроектировали бизнес-процесс разработки и согласования КД, определили правила формирования комплекта КД, выделили задания и определили их исполнителей. В качестве инструмента для проектирования модели потока работ, использовалось специализированное программное обеспечение Workflow Designer Системы управления проектами работ (СУПР), разработанное РЦ Аскон-Волга.

Мы построили последовательность прохождения заданий, разработали скрипты, для изменения состояний документов в процессе согласования и заполнения атрибутов согласования в Лоцман:PLM. На рис. 4 представлена модель потока работ разработки и согласования КД на специализированном языке СУПР.

где S – процесс согласования КД, n – количество этапов согласования.

Пример. Начальник конструкторского сектора проверяет КД на наличие ошибок в документации, полноту комплекта документов для согласования, наличие согласующих подписей, необходимых для текущего этапа согласования. По результатам проверки, начальник сектора принимает решение: отдать документацию на доработку или отправить на следующий этап согласования. Формально запись выглядит так:

$$r = d \vee m_i \cup m_t,$$

где r – решение начальника сектора, d – доработка КД, m_i – очередной этап прохождения согласования, m_t – текущий этап прохождения согласования

5. Анализ свойств модели потока работ согласования КД

Разработанная модель согласования КД была проверена в специализированном программном обеспечении Visual Object Net++. Модель проверялась на следующие свойства:

- достижимость (reachability) – которое устанавливает, что конечное состояние системы будет достигнуто при любой последовательности переходов от позиции i . Данное свойство также подразумевает, что при достижении конечной позиции данной сети отсутствуют фишки в промежуточных позициях;
- безопасность (safety) – устанавливает, что в процессах отсутствуют зависания (deadlocks), зацикливания, тупики;
- живость (liveness) – устанавливает, что система не содержит лишних позиций, которые никогда не будут выполнены. Отсутствие живости означает либо избыточность бизнес-процесса в проектируемой системе, либо свидетельствует о возможности возникновения зацикливаний, тупиков, блокировок.

Проведенный анализ модели потока работ согласования КД, представленный на рис. 5, показал, что некоторые свойства сети зависят от квалификации проектировщика. Итак,

- модель обладает не очень хорошим свойством достижимости, поскольку возможно скапливание фишек в позиции m_1 . Число фишек, которые могут скопиться в указанной позиции, зависит в первую очередь от квалификации конструктора, разработавшего КД. Чем ниже квалификация конструктора, тем больше количество раз документация будет возвращаться на доработку, а значит, тем большее количество фишек будет скапливаться в позиции m_1 ;

- модель обладает хорошим свойством живости, поскольку отсутствует избыточность бизнес-процесса. Это свойство также зависит от квалификации конструктора. Чем выше квалификация разработчика КД, чем меньше «живость» потока работ, поскольку многие операции, связанные с доработкой КД не будут выполнены;
- модель обладает хорошим свойством безопасности, поскольку отсутствуют зависания, заикливание, тупики и блокировки.

В результате проведенного анализа был обнаружен парадокс свойства живости. Традиционно считается, что чем выше показатель свойства живости, тем лучше модель системы была разработана. Однако, в действительности, чем выше квалификация конструктора, тем меньше ошибок он совершает, и документация реже отправляется на доработку. Следовательно, это лучше для конструкторско-технологической подготовки производства. В результате блоки модели, отвечающие за отправку КД на доработку, используются реже. И именно это приводит к ухудшению свойства живости.

6. Анализ ошибок обработки данных

Следует обратить внимание, что любой процесс согласования документации, как конструкторской, так и технологической содержит блоки программного кода, которые позволяют оперировать объектами, их состояниями и их атрибутами в процессе согласования. Например, смена состояния объекта в процессе согласования, для управления его жизненным циклом, или заполнения удостоверяющей подписи на этапах согласования.

Как известно, любой программный код может содержать ошибки. И чем больше строк программного кода, тем большее количество ошибок может допустить программист. Ошибки делятся на два вида – это синтаксические ошибки или семантические ошибки. Синтаксические ошибки выявить достаточно легко, это делают любые компиляторы программного кода или специально написанные unit-тесты. Большинство таких ошибок выявляются в момент написания программного кода. И если синтаксические ошибки находятся и исправляются достаточно легко и быстро, то семантические ошибки выявить очень сложно, поскольку чаще всего они возникают на этапе выполнения приложения.

Семантические ошибки делятся на две группы.

1. Логические ошибки.

Ошибки данного типа можно выявить, построив модель логики программного кода. Анализ модели позволит выявить тупиковые ситуации (deadlock), выполнимость программы. Этот вопрос рассматривается подробно во многих источниках, поэтому методы выявления таких ошибок в этой статье описываться не будут.

2. Ошибки целостности данных.

Большинство ошибок данного типа можно избежать, если разработчик архитектуры информационной системы грамотно проектирует ограничения целостности данных на уровне баз данных: определяет, может ли значение атрибута быть пустым, устанавливает внешние ключи, накладывает ограничение уникальности, устанавливает проверку корректности введенного значения. В ряде случаев это не представляется возможным.

Чтобы выявить ошибки данного типа требуется разработка специального программного приложения, проверяющего возможности заполнения атрибута допустимыми значениями. В качестве метода определения таких ошибок предлагается использование Чеклиста, в котором перечислены все необходимые атрибуты процесса согласования. Например, при согласовании конструкторской документации заполняются перечень атрибутов у документа. Для корректной работы программы требуется разработать Чеклист, в котором будут перечислены перечень недопустимых ошибок.

Чеклист ошибок согласования конструкторской документации.

- проверка наличия указанных атрибутов у всех возможных типов конструкторской документации.
- проверка наличия обязательных для заполнения атрибутов.
- проверка наличия файлов документации.

Заключение

Проанализированы особенности конструкторско-технологической подготовки производства продукции в условиях крупного предприятия. Разработана структурно-функциональная схема процессов типовых потоков проектных работ, а также определен перечень задач, решаемых в процессах конструкторско-технологической подготовки производства. Авторы разработали модели потока работ разработки и согласования конструкторской документации на базе специализированного языка РЦ Аскон-Волга и сетей Петри, а также произвели анализ модели потока работ согласования КД, которая обладает свойствами живости, безопасности и

достижимости. В результате работы был произведен анализ типов возникающих ошибок верификации диаграмматических потоков работ, связанных с ними семантическими составляющими в виде текстов и программных модулей. Будущие направления работ авторов будут связаны с разработкой методов исключения ошибок диаграмматических потоков работ, используя классификацию типов допустимых структурных ошибок.

Список литературы

1. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Бочков С.И., Уханова М.Е., Ионова И.С. Назработка и исследование виртуальных рабочих мест в среде OPENSIM // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2016. № 4 (76). С. 43-47.
2. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Уханова М.Е., Ионова И.С., Епифанов В.В. Анализ конструкторско-технологических потоков работ в условиях крупного радиотехнического предприятия // Радиотехника. 2017. № 6. С. 49-58.
3. Карпов Ю. Г. MODEL CHECKING. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – БХВ-Петербург, 2010.
4. Гончарук Ю. О. Проблемы создания и внедрения модели бизнес-процессов предприятия в форме Workflow System //Ресурсоэффективным технологиям-энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, г. Томск, 22-24 апреля 2015 г.—Томск, 2015. – С. 263-272.
5. Awad A., Puhlmann F. Structural detection of deadlocks in business process models //Business Information Systems. – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – С. 239-250.
6. Aguilar J. C. P. et al. Model Checking of BPMN Models for Reconfigurable Workflows //arXiv preprint arXiv:1607.00478. – 2016.
7. Janssen W. et al. Model checking for managers //International SPIN Workshop on Model Checking of Software. – Springer Berlin Heidelberg, 1999. – С. 92-107.
8. Kheldoun A., Barkaoui K., Ioualalen M. Specification and verification of complex business processes-a high-level petri net-based approach //International Conference on Business Process Management. – Springer International Publishing, 2015. – С. 55-71.
9. A.N. Afanasyev, N.N. Voit, M.E. Ukhanova, I.S. Ionova. Treatment design-engineering workflows in large enterprises.
10. И. Трохалиню. Лоцман: PLM 2017: Было и стало. Обзор новых возможностей в управлении данными об изделиях машиностроения. САПР и графика, май 2017.
11. И. Кочан. T-FLEX PLM на международном рынке. САПР и графика, май 2017.
12. П. Егоров. Проект "Развитие САПР" на базе Комплекса АСКОН. САПР и графика, апрель 2017.
13. П. Ведмидь, В. Власов. PLM системы менеджмента качества. САПР и графика, апрель 2017.
14. Сквозная 3D-технология АСКОН для предприятий машиностроения. ct3d.ru

15. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Разработка и исследование средств извлечения из САПР КОМПАС-3D и представления в веб-системах конструкторского описания, 3D-моделей промышленных деталей и сборок // В сборнике: Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2015) Труды международной конференции. Под ред. А.В. Толока. 2015. С. 208-212.
16. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Компонентная автоматизированная обучающая система САПР на основе гибридной нейронной сети // Автоматизация. Современные технологии. 2009. № 3. С. 14-18.
17. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Разработка компонентно-сервисной платформы обучения: диаграммы использования и деятельности программного компонента сценария на UML-языке // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2012. № 1 (57). С. 66-68.
18. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Реализация конструктора сценария обучающих курсов // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2011. № 1 (53). С. 54-59.
19. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Разработка методов нечеткой параметрической адаптивной диагностики обучаемого инженера // Автоматизация процессов управления. 2009. № 3. С. 51-56. 11
20. Афанасьев А.Н., Игонин А.Г., Афанасьева Т.В., Войт Н.Н. Использование нейросемантических сетей для автоматизированного проектирования вычислительной техники // Автоматизация. Современные технологии. 2008. № 1. С. 21-24.