

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ БАЛЧИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УЧЕБНОГО ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*А.А. Черепашков*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Рассмотрены проблемы обучения автоматизированному проектированию. Обсуждается применение учебных виртуальных предприятий для подготовки целевого персонала комплексных автоматизированных систем. Описывается использование методологической схемы Балчи для моделирования учебной проектной деятельности в интегрированной информационной среде.*

**Ключевые слова:** САПР; CAD/CAM/CAE/PDM/PLM; обучение автоматизированному проектированию; виртуальное предприятие; моделирование.

Машиностроительные САПР (в англоязычной классификации называемые М-CAD) признанно считаются одними из самых сложных компьютерных систем. Наряду с современными информационными технологиями в М-CAD реализуется целый набор компьютерных моделей, образующих в своем комплексе всестороннее и полное описание объектов машиностроения. Полное описание проектируемого изделия (Product definition), достаточное для его материального воплощения, последовательно формируется в процессах автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства (КТТП) с использованием объемного геометрического, инженерно-физического и других специфических для М-CAD видов моделирования [1].

В настоящее время в качестве одного из основных направлений развития САПР выделяется тенденция комплексной автоматизации проектно-производственных этапов жизненного цикла изделий (ЖЦИ). В комплексных автоматизированных системах интегрируются многочисленные программные компоненты и подсистемы, предназначенные для компьютерной поддержки КТТП современного производства. В таких машиностроительных САПР реализуется обширный комплекс прикладных компьютерных технологий промышленного назначения, обозначаемых на общепринятом техническом языке как CAD/CAM/CAE/CAPP...-технологии [1]. Каждая из приведенных аббревиатур соответствует важному направлению автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства (КТТП), а многоточие, поставленное автором в конце перечня, отмечает тенденцию к последовательному развитию и расширению области действия высоких компьютерных технологий. На Западе в связи с этим входит в обращение термин СА'х'-технологии [2].

CAD-технологии обеспечивают автоматизацию конструкторских работ на основе широкого применения средств компьютерной графики и геометрического моделирования. Объемные (3D) электронные модели изделия (ЭМИ), созданные в CAD-системах, служат основой для выполнения инженерного анализа (CAE-технологии) и технологического моделирования (CAM-технологии). CAPP-технологии, больше всего соответствующие принятому в русскоязычных странах термину САПР-ТП,

---

*Андрей Александрович Черепашков (к.т.н., доц.), доцент каф. технологии машиностроения.*

предназначены для автоматизации проектирования технологических процессов и разработки электронной технологической документации (ЭТД).

Методологической основой для пропаганды и развития идей комплексной автоматизации и интеграции в настоящее время выступает стратегия CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывное развитие и поддержка жизненного цикла продукции на основе новых информационных технологий), изначально появившаяся в американских военных стандартах. У гражданских фирм-разработчиков САПР более популярно использование термина PLM (Product Life cycle Management) – управление жизненным циклом изделий. Некоторые известные «софтверные» компании даже добавляют эту аббревиатуру в название своих фирм и программных продуктов, например Siemens PLM Software или «ЛОЦМАН-PLM». CALS/PLM-технологии, за которыми в России закрепилась аббревиатура ИПИ (технологии информационной поддержки жизненного цикла изделий), признанно считаются одним из самых эффективных средств внедрения инноваций [1]. Они достаточно широко используются в развитых промышленных странах при разработке и постановке на производство сложных и наукоемких изделий. Кстати, и в Российской Федерации в течение последнего десятилетия приняты национальные стандарты и руководящие материалы по комплексной автоматизации производства, официально вводящие в употребление эти термины и определения, в том числе и их международные (согласно стандартам ISO – англоязычные) аналоги [3-6].

Следует заметить, что в современных комплексных компьютерных системах, автоматизирующих практически всю инженерную деятельность на проектно-производственных этапах ЖЦИ (так называемые PLM-решения), перечисленные выше технологии и подсистемы тесно связаны и переплетены между собой. Так, например, с полным правом к технологическому моделированию можно отнести задачи анализа процессов литья и формообразования, осуществляемые в специализированных CAE-программах, а также геометрические преобразования и реалистическую визуализацию механообработки на станках с ЧПУ, традиционно относимых к САМ. Для проектирования технологического оснащения используются конструкторские САД-подсистемы, снабженные специализированными «технологическими» библиотеками. В интерактивных САРР-системах широко используются ЭМИ и электронные конструкторские документы (ЭКД).

Специфическим программным продуктом CALS/ИПИ/PLM можно считать системы управления данными об изделии (Product Life cycle Management – PDM). В PDM реализуются информационные технологии баз данных и компьютерных сетей, которые обеспечивают хранение всех инженерных данных в общем электронном архиве, а также поддерживают организацию коллективной работы над проектами сложных технических изделий в едином информационном пространстве предприятия (ЕИП). Создание ЕИП или, как это определено в стандартах, «Интегрированной информационной среды» ИИС [4] является одной из главных задач в процессе комплексной автоматизации предприятия.

Однако, вкладывая существенные силы и немалые средства в компьютерную технику и программы, на предприятиях зачастую упускают из вида, что производительность человеко-машинной системы определяется не только возможностями техники и программного обеспечения, но и навыками пользователя. Именно человек, включенный в состав сложной автоматизированной системы, обычно оказывается ее самым слабым звеном. Массовое внедрение жизненно важных для российских производителей средств комплексной автоматизации сдерживается в значительной мере

отсутствием кадров, способных работать в условиях интегрированной информационной среды [7].

Если изучение теоретических основ прикладной информатики и освоение локальных средств автоматизации может быть решено с помощью традиционных учебных методик, то проблема практического освоения интеграционных технологий остается открытой. В настоящее время уровень развития средств информационной поддержки жизненного цикла изделий (ЖЦИ) на большинстве отечественных предприятий носит в основном «лоскутный», фрагментарный характер, не позволяющий рекомендовать их в качестве академических образцов. С экономической точки зрения, и в обозримом будущем трудно рассчитывать на полноценное использование производственной базы коммерческих, акционерных предприятий для организации массового обучения студентов [7]. Более того, отмечены значительные проблемы, связанные с подготовкой кадров в проектах внедрения корпоративных систем, осуществляемых фирмами – разработчиками и интеграторами САПР [9].

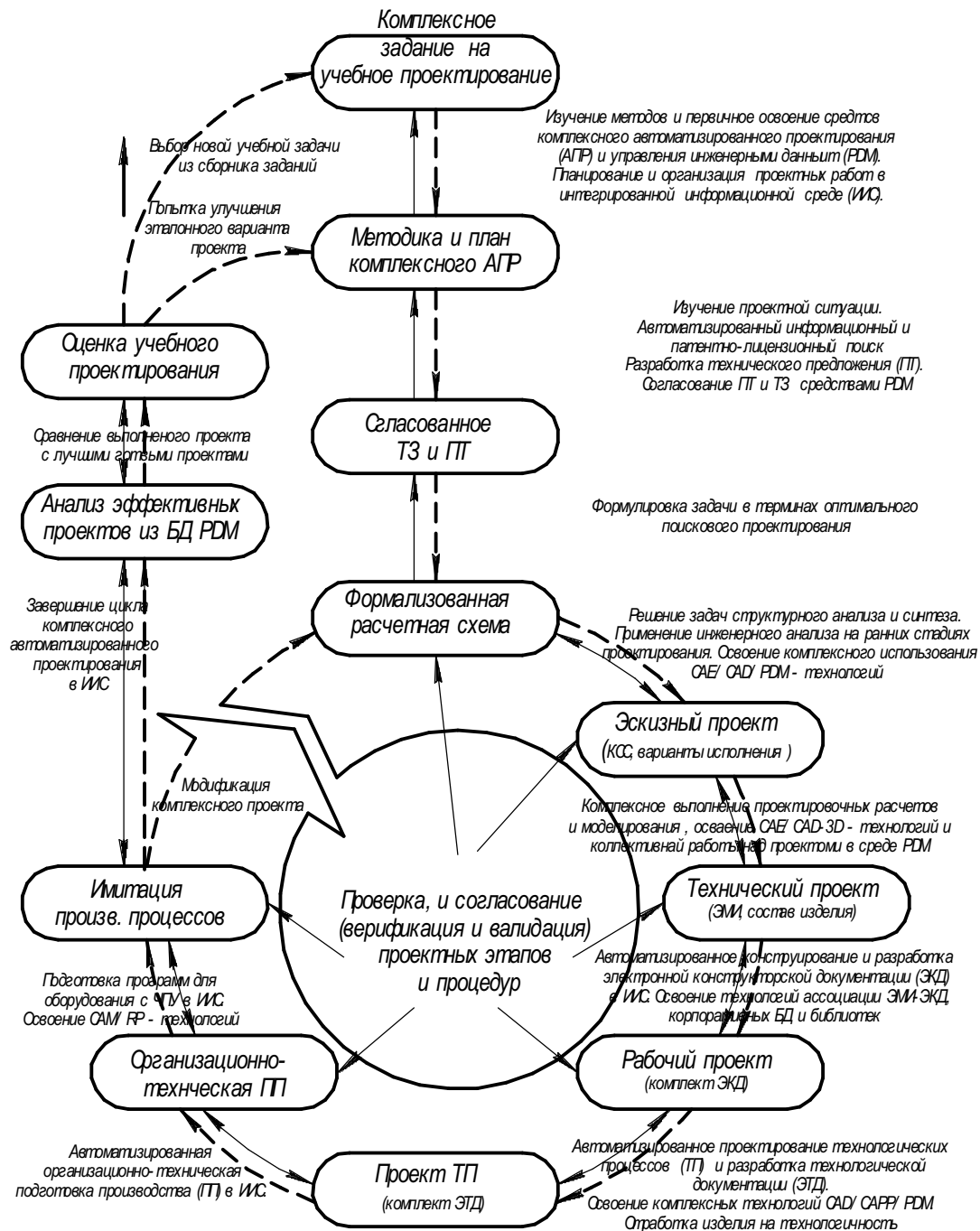
Для облегчения адаптации персонала и ускорения развития у пользователей автоматизированных систем умений и навыков практической работы в среде комплексных САПР предложено создавать и использовать специализированные *учебные виртуальные предприятия* [10-12]. Виртуальное предприятие (ВП) или VE (virtual enterprise) в английском написании – один из новых терминов в области технологий комплексной автоматизации промышленности [4]. ВП с образовательной точки зрения может рассматриваться не только как объект, но и как эффективное средство обучения. В случае плановой подготовки кадров для отрасли или региона учебные ВП могут формироваться на базе инфраструктуры компьютерных, производственных лабораторий и центров вуза. Так, в СамГТУ действует экспериментальное учебно-научное виртуальное предприятие (УНВП), созданное на базе центра компьютерного проектирования ФМиАТ [13].

УНВП представляет собой специализированное PLM-решение, то есть комплексную систему автоматизированного проектирования, охватывающую проектно-производственные и смежные с ними этапы ЖЦИ типового машиностроительного предприятия. В дальнейшем изложении мы будем описывать структуру и состав УНВП, опираясь на термины и определения действующих стандартов на информационные технологии и автоматизированные системы.

Уже в силу своего образовательного предназначения учебное виртуальное предприятие должно обладать существенными отличиями от промышленного аналога. Целью персонала учебного УНВП является практическое освоение и опытная отработка взаимосвязанного комплекса информационных технологий, соответствующих программных и технических средств автоматизации, информационных моделей, форматов обмена данными и т. п. К числу специализированных средств УНВП относятся компоненты информационного и организационного обеспечения, а также значительная часть методического обеспечения, поддерживающая специфические учебные функции САПР, действующей в рамках учебного заведения.

С методической точки зрения УНВП предназначено для использования в качестве своеобразного полигона, позволяющего многократно и быстро изменять условия производственной среды (ЕИП/ИИС) и на практике осваивать технологии и средства комплексной автоматизации. Прототипом при создании УНВП вуза может выступать конкретное промышленное предприятие или обобщенная модель предприятий, в которой используется или имитируется организационная и информационная структура, построенная по типовой отраслевой схеме [14].

Для формализации и описания методики учебного автоматизированного проектирования (УАПР) в среде учебного ВП предложено использовать модифицированную методологическую схему Балчи, разработанную ранее для АПР-тренажеров [15]. На рисунке приведена общая методологическая схема (модель) УАПР в среде виртуального машиностроительного предприятия.



Графическая нотация методологической схемы автоматизированного проектирования в среде учебного виртуального машиностроительного предприятия

Интеграционным ядром УНВП, как это и предусмотрено в методологии CALS/ИПИ/PLM, выступает система управления инженерными данными (PDM), включающая подсистему управления потоком работ (Work Flow). Для обучаемых PDM-система играет роль рабочей среды, непосредственно реализуя средствами Work Flow сценарий УАПР, разработанный преподавателем.

В общем случае в самом начале работы в среде УНВП обучаемый (пользователь, проектировщик, студент) получает *комплексное проектное задание* в форме ТЗ, предусматривающее прохождение всех этапов и процедур автоматизированной подготовки производства. На начальном этапе, связанном с определением целевых установок и путей решения поставленных инженерно-технических задач, начинающий проектировщик должен иметь возможность сформировать как необходимые ему теоретические основы в области компьютерных технологий, так и недостающие знания, относящиеся к предметной области объектов проектирования. Для этого могут использоваться интегрированные в учебное PLM-решение автоматизированные обучающие системы (АОС) и АПР-тренажеры, а также представленные в электронной форме учебники, пособия и справочники.

Далее студент осваивает профессиональные функции *планирования проектных работ и разработки технического предложения* (ПТ) на проектирование. Здесь для информационной поддержки могут быть использованы офисные и «управленческие» компьютерные программы или даже симитирован стык PLM с корпоративной системой автоматизированного управления (АСУ/ERP).

При создании комплексного проекта курсант последовательно исполняет различные функциональные роли инженерно-технического персонала: расчетчика, конструктора, технолога, нормировщика и т. п. в соответствии с организацией работ на реальном прототипе УНВП. Заключенные в круговую диаграмму (см. рисунок) этапы КТПП соответствуют рекомендациям стандартов ЕСКД/ЕСТД по основным стадиям технической подготовки производства для типового машиностроительного предприятия с полным циклом проектирования и производства.

Особое выделение в методологической схеме УАПР процедуры разработки формализованной *расчетной схемы* в значительной мере вызвано необходимостью акцентирования роли САЕ-технологий, обладающих повышенным обучающим потенциалом [2]. Кстати, смещение инженерного анализа на ранние этапы проектных работ является одной из характерных тенденций развития современных полномасштабных САПР [1].

Далее в соответствии с использованием САЕ/CAD-технологий конструктором разрабатывается *эскизный проект* изделия. Для реализации этапа *технического проекта* целесообразно применять технологии объемного геометрического моделирования (получение ЭМИ) и поверочных расчетов по методу конечных элементов. На этапе рабочего проектирования на основе ассоциативных видов 3D-моделей в полуавтоматическом режиме формируется комплект конструкторской документации (ЭКД). Комплект технологической документации разрабатывается технологом в САПР-ТП (САРР), интегрированной с CAD.

В процессе коллективной работы над комплексным проектом одним из самых проблематичных моментов АПР выступает переход от конструкторского к технологическому проектированию. Только в PLM-системе возможно полноценно автоматизировать совместную проработку изделия на технологичность на организационном стыке отделов и профессиональных компетенций конструкторских и технологических подразделений предприятия [1]. В свою очередь, САРР/CAD-технологии долж-

ны быть информационно связаны с организационно-техническим планированием (MESS), разработкой и отладкой программ для оборудования с ЧПУ (САМ).

В отличие от промышленного предприятия УНВП может не производить материальных объектов и товарных изделий, а оперировать их *информационными моделями и имитаторами*. Решение специально подобранных компактных учебно-исследовательских задач позволяет в рамках учебного ВП достаточно полно и наглядно представлять интеграционные цепочки информационных технологий, а отсутствие материальных объектов существенно минимизирует все затраты.

Сохраняя генеральную направленность проектирования сверху вниз, на каждом этапе деятельности обучаемого в среде УНВП предусмотрены циклические возвратные движения, необходимые для обеспечения вариативности технических решений, уточнения и оптимизации проектных параметров объектов и процессов.

В результате выполнения учебного задания в УНВП начинающему проектировщику необходимо не только сформировать достаточное для изготовления описание объекта, но и освоить (или закрепить) новые для него методы и средства автоматизированного проектирования, что отражается в пояснительной записке к проекту. На завершающей стадии обучения производится обязательный анализ результатов УАПР и оценка преподавателем принятых обучаемых проектных решений. Существенную роль здесь играют накопленные в базе знаний УНВП, лучшие и показательные проекты. Как и в случае с АПР-тренажерами, предъявление оптимальных инженерных решений в УНВП эффективно только после прохождения (может быть, не всегда удачного) всего цикла учебных проектных работ.

Принципиально важными для достижения целей обучения целевого персонала комплексных САПР являются встроенные во все этапы АПР процедуры проверки и согласования (верификации, валидации и тестирования по Балчи). Кроме того, обязательность проверки и утверждения технических документов хорошо соответствует общепринятым функциональным ролям руководителей проектных работ всех уровней, выполняемых преподавателями в учебном проектировании. Для корректировки обучения и организации обратных связей, отмеченных возвратными стрелками на схеме, УНВП может включать специализированные программные и информационные ресурсы, например модули тестирования и контроля знаний.

Исследование функционирования экспериментального УНВП в реальном учебном процессе ФМиАТ СамГТУ позволило выявить положительный учебный эффект [16]. Применение УНВП повышает производительность учебных проектных работ и ускоряет процесс обучения знаниям, умениям и навыкам автоматизированного проектирования, в том числе и на локальных автоматизированных рабочих местах, а комплексное решение инженерных задач в среде УНВП позволяет обучаемым системно связывать между собой знания и умения в области прикладных компьютерных технологий с общетехническими и профессиональными отраслевыми компетенциями.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Черепашков А.А., Носов Н.В.* Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении. – Волгоград: Ин-фолио, 2009. – 650 с. Допущено в качестве учебника для студ. высш. учеб. заведений Учебно-методическим объединением вузов в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ).
2. *Engineers' CAx education – it's not only CAD / C.W. Dankwort, R. Weidlich, B. Guenther et al. / Computer-Aided Design №36 (2004). – p.1439-1450.*
3. ГОСТ Р ИСО 10303-1-99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными.
4. Р50.1.031-2001. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции.

5. P50.1.032-2001. Терминологический словарь. Часть 2. Применение стандартов серии ГОСТ Р ИСО 10303.
6. ГОСТ 2.052-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.
7. Черепашков А.А. Проблемы обучения технологиям комплексной автоматизации // Применение программных продуктов КОМПАС в высшем образовании: Тр. междунар. конф. – Тула: Гриф и К, 2005. – С. 7-10.
8. GOST\_34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения.
9. Черепашков А.А., Букатин А.В. Обучение персонала в проектах внедрения САПР: Учебное виртуальное предприятие на платформе АСКОН // САПР и графика. – 2011. – №10. – С. 36-39.
10. Черепашков А.А. Основные принципы создания учебного виртуального предприятия. – Актуальные проблемы развития университетского технического образования в России. – Самара: СГАУ, 2004. – С. 256-258.
11. Черепашков А.А. Технологии информационной поддержки виртуального предприятия в техническом вузе // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Вып. 41. – Самара, 2006. – С. 109-114.
12. Черепашков А.А. Компьютерное моделирование среды виртуального предприятия в вузе / А.А. Черепашков // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Компьютерные технологии в науке, практике и образовании», СамГТУ. – Самара, 2007. – С. 128-131.
13. Носов Н.В., Черепашков А.А. Виртуальное предприятие в техническом вузе как средство подготовки кадров для машиностроения // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. вып. «Актуальные проблемы машиностроения». – Самара: Изд-во СНТЦ РАН, 2009. – С. 268-271.
14. Черепашков А.А. Моделирование процессов КТПП машиностроительного завода в среде учебно-научного виртуального предприятия // Известия Самарского научного центра РАН. Том 12, №12. – Самара: Изд-во СНТЦ РАН, 2010. – С. 619-622.
15. Черепашков А.А. Использование схемы имитационного моделирования Балчи для формализации методологии учебного автоматизированного проектирования // Современные компьютерные технологии фирмы DELCAM в науке, образовании и производстве: Тр. междунар. науч.-тех. конф. – Самара: Сам ГТУ, 2011. – С. 122-124.
16. Черепашков А.А. Методика оценки эффективности подготовки целевого персонала машиностроительных САПР // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 13, №4(3). – Самара: Изд-во СНТЦ РАН, 2011. – С. 897-899.

*Статья поступила в редакцию 21 декабря 2011 г.*

## **USE MODIFIED METHODOLOGICAL SCHEME BALCHI FOR MODELING OF THE SCHOLASTIC VIRTUAL ENTERPRISE**

***A. Cherepashkov***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The problems of CAD (computer-aided design) teaching are considered in the paper. The use of educational virtual enterprises for training PLM- (Product Lifecycle Management) - system users is considered. The use of methodological scheme Balchi for modeling computer-aided design techniques in the integrated information environment is described.*

***Keywords:*** CAD/CAM/CAE/PDM/PLM, Teaching of computer aided design, virtual enterprise, integrated information environment for education.

---

*Andrey A. Cherepashkov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*