

ВЫБОР ЦЕПОЧКИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

ТЕРЕНТЬЕВ Вадим Васильевич – Московский авиационный институт (государственный технический университет), ассистент
e-mail: cadem@mai.ru

Vadim V. TERYTYEV – Moscow Aviation Institute (State Technical University), assistant
e-mail: cadem@mai.ru

В статье сформулирован следующий возможный метод проектирования сложных машиностроительных изделий: определение оптимальной цепочки проектирования изделия в информационном пространстве. Метод ориентирован на коллективную распределенную работу со сложными иерархическими конструкциями, с большими объемами разнородной информации. Предложен алгоритм реализации метода в применении к задаче оценки временных и материальных затрат для инженерного проекта. Основными пользователями алгоритма являются руководители команд (групп, отделов, подразделений), разработчиков, расчетчиков, технологов и др. Постановочно определена задача разработки экспертной системы критериальной оценки последовательности выполнения инженерного проекта.

The paper formulated the following possible method of development engineering products: "find the optimal Collaborative Product Development chain (CPD chain) in the information infrastructure". The method focuses on the collective distributed work with complex, hierarchical structures, with large amounts of heterogeneous information. An algorithm for implementation of the method applied to the problem of estimating time and material costs for the engineering project. In paper defined the tasks of development an expert system for criterial evaluation the sequence of realization mechanical engineering project.

Ключевые слова: методы проектирования, двигатели, энергетические установки, единое информационное пространство, цепочки проектирования, компьютерная инфраструктура, система принятия решений.

Key words: methods of product development, engines, power plants, a knowledge based infrastructure, a chain of product development, computer infrastructure, the decision-making system.

По мере усложнения проектируемых объектов растет потребность в накоплении информации на всех стадиях их жизненного цикла. Проектирование и производство являются основными стадиями генерации значительных объемов информации о машиностроительных изделиях и объектах. Эксплуатация и утилизации продукции машиностро-

ения подразумевают доступ к достоверной информации о свойствах изделия и технологиях его производства [1]. В целом вектор развития проектных и конструкторских работ направлен на использование систем принятия решений на основе виртуального моделирования, прототипирования и баз знаний.

Соответственно, должна рассматриваться задача увязывания компьютерных систем и методологических процессов проектирования в единый комплекс – пространство проектирования [2]. Существующие методы решения основаны на принципах, определяемых CALS-технологиями, и на принципах построения и взаимодействия открытых систем (OSI). Известно, что внедрение комплексных решений в областях CAD/CAE/CAM, за счет использования PDM/PLM/ERP-систем, позволяет экономить время и средства на разработку новых конкурентоспособных образцов сложной техники. Рассмотрим подробнее проблематику создания и функционирования пространств проектирования. Более 15 лет назад известная аналитическая компания Daratech (www.daratech.com) опубликовала отчет [3], в котором показаны затраты пользователей на различные аспекты информационных технологий: проблема структурирования данных (50%); проблема построения IT-системы (30%); проблема квалификации кадров (20%).

Структурирование данных

Данные, формируемые в ходе проектирования машиностроительных изделий, подробно описаны в соответствующих документах: стадии разработки (ГОСТ 2.103), техническое предложение (ГОСТ 2.118), эскизный проект (ГОСТ 2.119-73), технический проект (ГОСТ 2.120-73), рабочая конструкторская документация (по ГОСТ 2.102), технологическая документация (ГОСТ 3.1102) и т.п. Данные также проходят различные проверки и согласования, закрепленные в соответствующих стандартах отраслей и предприятий. Анализируя вышесказанное, с учетом формирования в компьютерной инфраструктуре информационного пространства, предлагается все данные предприятия рассматривать с позиции (view point) пользователей: проектировщиков, технологов и др. В результате выделяются три уровня данных: нормативные материалы; архивы прототипов; информация по текущему проекту. Подобное разделение информации фактически определяет структуру единого информационного пространства (ЕИП) – набора электронных архивов, баз данных, справочников и т.п.

Основные задачи, решаемые в ЕИП: классификация объектов по атрибутам (модель данных); фокусировка и поиск в информационном пространстве (фильтрация). Здесь же возникает ряд побочных задач, связанных с иерархией данных, уровнями вложенности и с системами кодификации данных. Например, согласно [4], глубина вложенности в технических объектах не должна превышать 14 уровней. По системам кодификации

данных можно сослаться на систему SNS (Standard Numbering System), по которой существует множество наработок, в частности в области создания эксплуатационной документации и интерактивных руководств на основе единой базы данных [5].

Таким образом, структурированные данные по изделию, по его прототипам, технологиям проектирования, производства и эксплуатации являются информационной средой, описываемой рядом атрибутов.

Структурирование IT-системы

В основе компьютерной инфраструктуры (КИС), как правило, находится эталонная модель открытых систем (ISO/IEC 7498), и КИС базируется на физической реализации системы: телекоммуникации, аппаратное и программное обеспечение узлов сети, правила и схемы функционирования узлов (права доступа к объектам, эксплуатационные требования и т.п.). Фактическое построение IT-инфраструктуры описывается в соответствии с ГОСТ 34.xx и подобными стандартами. Безусловно, управление компьютерной инфраструктурой должно находиться в руках соответствующих специалистов, но пользователи IT-систем (инженеры – конструкторы, технологи и т.д.) для выполнения своих задач также должны обладать необходимыми знаниями и квалификацией в области информационных технологий. С точки зрения пользователей, IT-системы можно разделить на два основных типа инструментальных средств проектирования: собственно рабочие места проектировщиков; централизованные системы предприятиями в целом.

Первый тип инструментальных средств включает в себя характеристики и свойства конкретных автоматизированных рабочих мест: параметры аппаратного обеспечения рабочего места, операционной системы, прикладного программного обеспечения CAD/CAE, модули CAM, системы ввода/вывода данных и их обработки и т.п.

Второй тип ориентирован на распределенную поддержку информационной составляющей: создание электронных архивов, справочников и баз данных, т.е. то, что определяет Единое Информационное Пространство. Именно используемые централизованные платформы определяют возможности и требования к программному обеспечению автоматизированных рабочих мест (АРМ) по взаимодействию: сетевые протоколы, коммуникационное программное обеспечение, системы PDM/PLM/ERP, права на использование справочников и баз данных, доступ к данным выполняемого проекта/изделия и т.п.

Таким образом, в едином информационном пространстве мы выделяем наборы данных – **атрибуты системы**, которые присущи рабочим местам и связям между рабочими местами.

Правила проектирования

Третья проблема, отраженная в отчете Daratech, – проблема подготовки кадров (training), влияющая на пространство проектирования, – может быть представлена как наборы правил выполнения работ, последовательностей операций, взаимодействия разработчиков и контрагентов и т.п. Набор правил описывается отраслевыми стандартами и стандартами предприятий, методиками и т.д. Тексты, в качестве документов, могут входить в упомянутые выше нормативные материалы. Безусловно, никакой набор правил не может гарантировать достаточную квалификацию персонала, но наличие в ЕИП подобного набора является методической базой систематизированного обучения, в результате которого у обучаемого появляются знания того, ЧТО и КАК должно быть сделано в ходе выполнения ПРОЕКТА. В системах управления инженерными данными (PDM-системы) дополнительно формализуются и применяются организационные правила проектирования – бизнес-процессы, сложившиеся на предприятии с учетом применяемых стандартов и методик.

Выводы по проблематике «пространство проектирования»:

а) Основным результатом увязывания компьютерных систем и методологических процессов проектирования в единый комплекс предлагается считать переход от выполнения работ к выполнению **проектов**. Информация, создаваемая в ходе выполнения проектов, накапливается в пространстве проектирования и может быть использована на соответствующих стадиях жизненного цикла изделия.

б) Важным отличием проектирования в ЕИП от «классических» методов проектирования сложных машиностроительных изделий является комплексный подход к использованию информации, возможность быстрого поиска необходимых данных, фо-

кусировка на данных определенного типа (фильтрация данных), передача данных между системами проектирования, математического моделирования, технологической подготовки производства и т.п.

в) Основной единицей при проектировании на основе CALS-технологий является изделие, для которого определяются рамки проекта [6]: модель данных об изделии, среда проектирования, система проектирования, порядок проектирования (бизнес-процессы).

г) Частные проектные задачи на предприятиях (КБ, производство, ремонт) предлагается решать в виде цепочек проектирования при определении трех вышеперечисленных информационных блоков: **атрибутов среды** проектирования; **атрибутов системы** проектирования и **правил проектирования** (рис. 1).

Цепочки проектирования изделия

Сформулируем возможный метод проектирования в компьютерной инфраструктуре двигательных и энергетических установок летательных аппаратов, который позволит проводить оптимизацию последовательности проектирования как «**определение оптимальной цепочки проектирования изделия в пространстве проектирования**». При реализации данного метода необходимо учитывать требования к проектируемому изделию, порядок проектирования и свойства среды проектирования.

Основными понятиями метода являются:

Элементарный объект проектирования (ЭО): деталь, сборка, узел и/или их отображение – документ (эскиз, чертеж, 3Д-модель и т.п.).

Элемент цепочки проектирования (элемент): обобщенный набор операций над ЭО, совершаемый командой исполнителей при использовании массивов данных и инструментов для придания ЭО необходимых свойств. Характеризуется временем выполнения набора операций, стоимостью, мощностью (количество ЭО в единицу времени), признаком декомпозиции.

Межэлементная связь: операции информационного обмена между элементами. Характеризует-

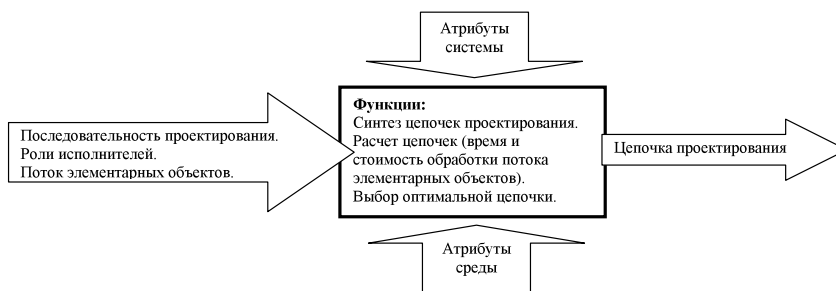


Рис. 1. Описание метода проектирования наукоемкого изделия

ся временем передачи (задержкой), стоимостью, пропускной способностью.

Цепочка проектирования: последовательность элементов и их связей.

Правила проектирования: набор правил выполнения работ, взаимодействий в команде, между подразделениями и контрагентами; «бизнес-логика».

Атрибуты среды: информация, необходимая для проектирования. Стандарты, справочники, нормативно-технические, нормативно-методические материалы по проектированию. Архивы выполненных проектов, текущий архив.

Атрибуты системы: свойства компьютерной инфраструктуры. Телекоммуникации, свойства рабочего места, аппаратного и программного обеспечения, схемы информационного взаимодействия при распределенной работе команды и доступе к электронным справочникам и архивам.

Суть метода: на основе правил проектирования (бизнес-логики), атрибутов среды и атрибутов системы определить оптимальную цепочку проектирования для решаемой проектной задачи.

Область применения метода

Метод предлагается использовать для планирования разработки двигателей и энергетических установок летательных аппаратов. К особенностям разрабатываемых объектов относятся: значительный срок их жизненного цикла, сложность изделия как по составу, количеству деталей, так и по наукоемкости, тесная взаимосвязь стадии проектирования со стадиями производства и эксплуатации, большие объемы документируемой информации. Соответственно, метод ориентирован на коллективную распределенную работу со сложными иерархическими конструкциями, с большими объемами разнородной информации. Результатом применения метода к каждой конкретной задаче является оценка временных и материальных затрат для ее выполнения [7]. Основными пользователями алгоритма применения метода являются руководители команд (групп, отделов, подразделений), разработчиков, расчетчиков, технологов и др.

Исходя из вышесказанного, метод должен быть применен (исследован) для:

- большого количества элементарных объектов (3Д-деталей, чертежей, результатов расчетов и т.п.);
- работы с системой правил, бизнес-процессами;
- большого количества информации (справочники материалов, расчетные данные, архивы прототипов и т.п.);

- работы с определенными ресурсами (аналог задачи планирования нагрузки на станочный парк);
- цепочек проектирования различной длины.

Алгоритм применения метода (рис. 2)

1. Определение правил проектирования. Формулировка последовательности проектирования и ролей исполнителей (SET). Определение потока (суммарного объема) элементарных объектов. Результат: выделение первичных элементов цепочки проектирования и межэлементных связей. Ответы на вопросы: кто сделает, кто примет, какой объем работ.

2. Определение данных, необходимых для проектирования (атрибуты среды – DATA), и определение свойств компьютерной инфраструктуры (атрибутов системы – TOOLS).

3. Синтез цепочек проектирования (WF).

3.1. Выявление образующих (непроизводных элементов) [8]. Для предлагаемого метода образующая характеризуется вектором признаков (идентификатор, класс образующей – принадлежность к элементу проектирования, связи образующей). Связи образующей характеризуются следующими признаками: индексом ij , где i – порядковый номер образующей во множестве Gn , а j – порядковый номер связи данной образующей; направлением связи; показателем связи.

3.2. Построение конфигураций. Конфигурация – объект, получающийся при соединении связей. В нашем случае очевидна необходимость связей между элементами цепочек и допустимость связей между образующими одного класса (внутренняя топология). Такая конфигурация и будет цепочкой проектирования.

4. Расчет цепочек проектирования. Результат расчета – время (time) и стоимость (cost) обработки заданного потока элементарных объектов.

5. Выбор оптимальной цепочки из массива возможных. Выбор целесообразно проводить с учетом третьего критерия – потока элементарных объектов с целью определения максимальной пропускной способности цепочки. Выявление регулярных подобных конфигураций (тех, для которых изме-

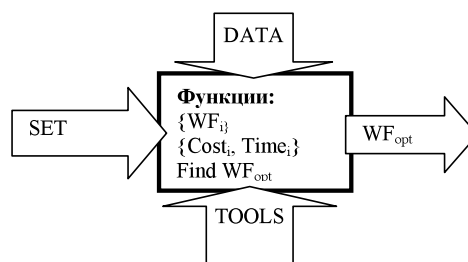


Рис. 2. Функциональная модель алгоритма поиска оптимальной цепочки проектирования

няются только показатели связей) позволит свести различные задачи к типовым бизнес-процессам.

Алгоритм может быть реализован в экспертной системе, использующей следующие понятия: поток элементарных объектов; набор правил проектирования (SET); набор информации, необходимой для проектирования (DATA); набор информации о среде проектирования (TOOLS); массив цепочек проектирования (WF) [9].

$WF=SET(DATA, TOOLS)$.

В первом приближении система должна:

1. Контролировать полученные WF на целостность SET (ошибка эксперта).
2. Оценивать time и cost для WF_i .
3. Искать оптимальную WF.

Предложенный метод также позволяет решать ряд обратных задач: прогнозировать выполнение работ при модификации исходных данных, например, оценить экономический эффект от модернизации рабочих мест, задействованных в выполнении конкретного проекта.

Выводы

На стадии подготовки к внедрению элементов CALS-технологий необходимо задаться основными праксеологическими оценками [10]: результативностью, полезностью и экономичностью. Результаты внедрения возможно оценивать по следующим критериям: достижение цели, полезный результат, затраты на реализацию.

Результативность – достижение цели может быть частичным. Проблематика внедрения CALS-технологий обусловлена необходимостью взаимодействия трех глобальных ресурсов: инженерных (технических, машиностроительных) технологий, информационных (компьютерных, IT) технологий и человеческого фактора (Human resource).

Эффективность, полезность инженерных, технических решений при проектировании сложных машиностроительных изделий в большей степени будет определяться не оптимизацией каждого отдельного узла изделия, а выбором пути достижения поставленной инженерной задачи. Внедрение CALS-технологий, в первую очередь, подразумевает сохранение научного и технологического потенциала, формализацию знаний о проектировании и производстве наукоемких изделий, а во вторую очередь – развитие этого потенциала за счет возможностей компьютерной инфраструктуры.

Главными возможностями компьютерной инфраструктуры, на которую будут приходиться основные затраты по внедрению, в данном случае явля-

ются: технологии распределенного и виртуального проектирования (основанные на ускоренном информационном обмене); высокопроизводительные вычислительные ресурсы рабочих мест проектировщиков; системы хранения и обработки данных.

По мере интеграции вышеупомянутых глобальных ресурсов будет изменяться методология проектных действий. Как следствие, все чаще потребуются механизмы рационального выбора того или иного варианта решения инженерных задач с учетом использования элементов CALS-технологий.

Библиографический список

1. Братухин А.Г., Давыдов Ю.В., Павлов Ю.Б., Суров В.И. CALS в авиастроении. – М.: Изд-во МАИ. 2000.
2. Olivier Tabaste. Оптимизация и управление данными инженерного анализа при проведении крупных проектов – система SimManager: Доклад на научно-техническом семинаре «Применение современных технологий Виртуальной Разработки Изделий (Virtual Product Development – VPD) в аэрокосмической отрасли». MSC.Software, Москва, 15-16 марта 2005 года.
3. 3D Plant design systems; benefits and paybacks. Daratech inc., Cambridge, MA 02113, 1994, www.daratech.com
4. Чадеев В.М. Выбор параметров иерархии при проектировании изделий и автоматизации технологических процессов. – М.: Институт проблем управления РАН им. Трапезникова В.А., 2004.
5. INTERNATIONAL SPECIFICATION FOR TECHNICAL PUBLICATIONS UTILISING A COMMON SOURCE DATA BASE. AECMA SPEC 1000D Issue 2.0 2003–05–31
6. Кривошеев И.А. Общая структура автоматизированной разработки авиационных двигателей и энергоустановок. – М.: Машиностроение, 2009. –256 с.
7. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка решений: Научно практическое издание. – М.: СИНТЕГ, 1998.
8. Гренадер У. Лекции по теории образов. Регулярные структуры: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983.
9. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. Унифицированный подход / Леффингуэлл Дин, Уидриг Дон.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002.
10. Гаспарский В. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок / Пер. с польского под редакцией А.И. Половинкина. – М.: Мир, 1978.

Московский авиационный институт
(государственный технический университет)