

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Д.И. Конотоп, В.П. Зинченко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев
konotor.dmitriy@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрены проблемы автоматизации процесса проектирования сложного технического объекта на примере самолета. Показаны основные этапы современного проектирования самолета с использованием компьютерных информационных технологий, представлен вариант концепции оптимального проектирования самолета с применением онтологического подхода и принципов анализа, декомпозиции и синтеза. В статье используются данные, полученные в результате проектирования в CAD/CAM/CAE-системе на стадии создания модели распределения объектов, учитываются весовые характеристики самолета в соответствии с требованиями эскизного этапа проектирования и на основе полученных данных с предыдущих этапов. Применение онтологического подхода позволяет решить основные задачи современного проектирования на различных этапах создания сложного технического объекта, согласовать параллельную работу конструкторов над проектом.

Ключевые слова: сложный технический объект, оптимальное проектирование, онтологии, декомпозиция, синтез.

Введение

Проектирование сложного технического объекта (СТО), например, самолета, представляет собой развитую иерархическую структуру с большим числом элементов и внутренних связей. При оптимальном проектировании СТО используются методы анализа, декомпозиции и синтеза [1].

Применение онтологического подхода упрощает процесс оптимального проектирования, позволяет решить основные задачи современного проектирования на различных этапах создания СТО, согласовать параллельную работу конструкторов над проектом.

В данной статье рассматривается концепция применения онтологического подхода при оптимальном проектировании самолета на стадии эскизного проектирования.

1 Процесс проектирования сложного технического объекта

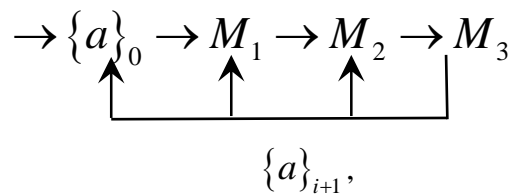
Современное проектирование СТО с использованием компьютерных информационных технологий представляет собой многоэтапный процесс [2, 3], который включает следующие этапы:

- составление технического задания (ТЗ);
- проектирование мастер-геометрии (МГ) самолета;
- модели распределения объектов (МРО) – уровень проработки эскизного и технического этапов проектирования (предварительное проектирование);
- модели полного электронного определения изделия (МПЭОИ – уровень рабочего проектирования) [4].

В МГ были определены и смоделированы на основе требований ТЗ основные теоретические поверхности и положения основных силовых элементов конструкции планера самолета.

МРО – уровень проработки эскизного и технического этапов проектирования (предварительное проектирование). Данному этапу в статье уделяется первоочередное внимание ввиду того, что на нем закладываются все основные наукоемкие решения проектирования самолета.

При реализации вышеперечисленных стадий используется технология параллельного проектирования, которая обеспечивает прямую и обратную связь текущего и предыдущего этапов. Конечным результатом современного проектирования с использованием САД/САМ/САЕ-систем является создание 3D-модели самолета, которая будет отвечать требованиям критериев качества (пример рассмотрен ниже) и подготовка рабочей документации с целью передачи их на производство [5-7]. Процесс проектирования СТО можно представить в виде следующей итерационной процедуры:



где $\{a\}_0$ - исходные данные (ТЗ), M_i - создание 3D-модели на этапах проектирования МГ, МРО и МПЭОИ соответственно, $\{a\}_{i+1}$ - новые (измененные) параметры, т.н. уточнения проектирования, которые появляются по результатам проектирования последующих этапов проектирования, после чего могут вноситься изменения на предыдущие этапы.

Вышеперечисленные этапы проектирования самолета можно объединить в следующие глобальные группы: внешнее проектирование (ТЗ), формирование облика (МГ) и внутреннее проектирование (последние, более детализированные этапы).

2 Оптимизация проектирования сложного технического объекта

Обозначим $a = (a_1, a_2, \dots, a_N)$ – вектор конструктивных параметров СТО, каждый из которых включает определенные ограничения (функциональные, геометрические и т.д.) в зависимости от типа параметра, $a \in A$. Выбор координат вектора и множества A производится на основе опыта проектирования подобных СТО. Для критерия эффективности $F(a)$ конструктивных параметров $a \in A$ задача оптимального проектирования на эскизном этапе при создании геометрической модели с учетом ограничений, наложенных на предыдущем этапе – МГ, заключается в определении вектора конструктивных параметров:

$$(1) \quad a^0 \in \text{Arg max}_{a \in A} F(a), \text{ где } \text{Arg max}_{a \in A} F(a) = \{a \in A \mid F(a) = \max_{a \in A} F(a')\}.$$

Проектирование СТО связано с большой размерностью N вектора a , что требует больших ресурсов для определения значений $F(a)$. Поэтому для решения (1) необходимо использовать метод декомпозиции.

Декомпозиция заключается в разложении исходной системы на ряд независимых подсистем. В конструкции объекта одним из основных соотношений является соотношение "часть-целое", которое можно изобразить теоретико-множественной операцией объединения: $A = \bigcup_{i \in I} a_i$, где $i \in I$, что составляет совокупность частей, которые объединяют a_i в одно целое – A .

Структура данных проекта эскизного этапа имеет вид дерева [6], пример которого представлен на рисунке 1. В дереве общая модель СТО представляется как совокупность моделей

субобъектов (составляющих общей модели: сборочных единиц и деталей), каждая из которых исследуется отдельно со своим множеством конструктивных параметров $a_i \in A$.

Дерево проекта показывает обозначения основных сборочных единиц конструкции, силовой установки, систем и оборудования самолета, а также включает разработанную МГ самолета в виде спроектированных 3D-моделей самолета в определенных CAD/CAM/CAE-системах. Например, NNN.01.0000.000.000a – ключ главной сборки, который обозначает, что данная сборка раскрывает первую модификацию самолета, обозначенного в рисунке, как NNN. Данная сборочная единица включает все сборки конструкции, силового набора, также системы и оборудования проектируемого самолета.

NNN.01.5600.000.000a – сборочная единица гидравлической системы (ГС) самолета, которая включает все составляющие данной проектируемой системы и состоит, например, из сборочных единиц, обозначенных: NNN.01.5610.000.000a (ГС в фюзеляже), NNN.01.5640.000.000a (ГС в пилоне)...

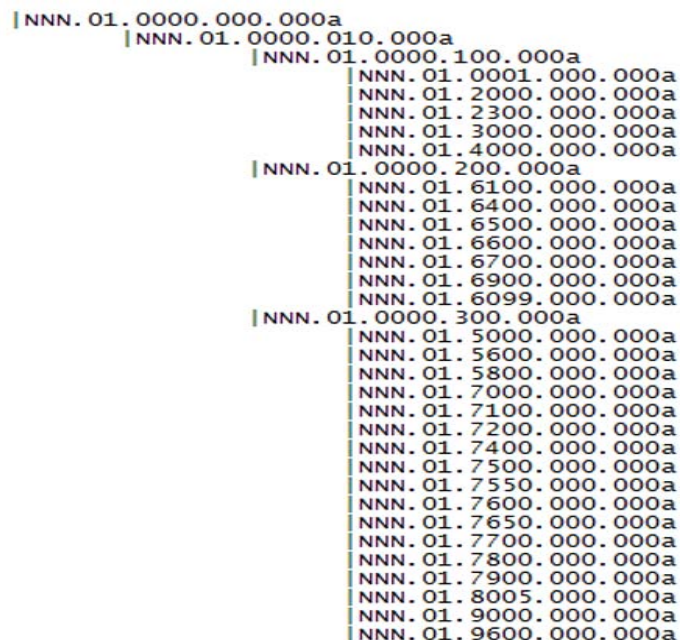


Рисунок 1 – Пример дерева проекта самолета NNN

Например, в задаче проектирования самолета одним из критериев качества Q выберем взлетный вес G_0 , который рассчитывается в первом приближении на этапе «внешнего» проектирования на основе опыта проектирования подобных СТО и внесенных поправок. Его можно связать с экономическими критериями качества. Текущий вес конструкции, полученный при моделировании текущего этапа проектирования равен:

$$G = \sum_{i=1}^m V_i \rho_i$$

где m - количество субобъектов (составляющих общей модели: сборочных единиц и деталей), а V_i и ρ_i - соответственно, объем и удельный вес материала субобъекта. Параметры субобъектов определяются внешними аэродинамическими нагрузками, количеством и характером связей между субобъектами. Задача проектирования самолета: $G=G_0$ состоит в определении распределения веса между субобъектами, в зависимости от величины и характера на-

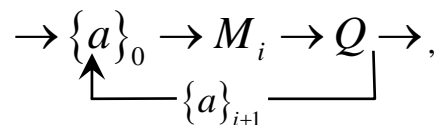
гружения [1]. Размерность вектора конструктивных параметров $a = (a_1, a_2, \dots, a_N)$ в этом случае определяется как

$$N = \sum_{j=1}^m k_j$$

где k_i - количество связей i -го субобъекта, m - количество субобъектов.

Оптимальное значение взлетного веса самолета $G = G_0$ может быть получено при различных сочетаниях весов субобъектов. При решении этой задачи необходимо использовать критерий качества Q , описанный выше.

Таким образом, исходя из существующей технологии, решение задачи контроля веса субобъекта СТО на определенном этапе проектирования можно представить в виде следующей итерационной процедуры:



где $\{a\}_0$ - исходные данные, M_i - создание 3D-модели, Q - проверка критерия качества, $\{a\}_{i+1}$ - новые (измененные) параметры, уточнения проектирования, которые появляются по результатам проектирования последующих этапов проектирования, после чего могут вноситься изменения на предыдущие этапы.

Синтез конечного результата на каждом текущем уровне декомпозиции представляет собой объединение результатов задач последующего уровня, сравненный с критериями качества текущего уровня. При решении задачи контроля взлетного веса конструкции СТО сумма весов субобъектов сравнивается с G_0 [1].

3 Знаниеориентированный подход в оптимальном проектировании самолета

На основе вышеизложенных основных принципов оптимального проектирования СТО в процесс проектирования вводятся знаниеориентированные информационные технологии на примере применения концепции онтологических баз знаний.

На рисунке 2 показано место онтологических баз знаний в современном проектировании СТО.



Рисунок 2 – Знаниеориентированный подход в проектировании СТО

Современное проектирование СТО можно разделить на следующие основные составляющие:

1) 3D-моделирование – это формирование поверхностных и твердотельных моделей субобъектов самолета;

- 2) математическое моделирование – математические методы и средства, которые используются при проектировании СТО, например ограничения, накладываемые на конструкцию самолета и учитывающиеся на всех этапах проектирования;
- 3) решения по функциональности – это информация о работе отдельных систем, блоков, агрегатов;
- 4) решения по структуре изделия – это наполнение дерева проекта на определенном этапе проектирования СТО.

Онтологические базы знаний позволяют представить данные процесса проектирования в виде упорядоченной структуры с четко определенными связями между различными составляющими частями процесса оптимального проектирования, объединить между собой различные проектные данные, организовать связь между различными этапами и задачами проектирования.

Под формальной моделью онтологии понимают множество, состоящее из трех подмножеств:

$$O = \langle A, R, F \rangle,$$

где A – конечное множество концептов предметной области;

R – конечное множество отношений между концептами предметной области;

F – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах [8].

Рассмотрим онтологию предметной области – «Проектирование самолета», которая содержит понятия этой предметной области, интерпретацию знаний и отношений внутри этой области.

Онтологический подход в данной области опишем в виде следующего обобщенного алгоритма действий:

- 1) составление словаря предметной области на основе составляющих проектирования СТО, рассмотренных ниже (тезаурус);
- 2) получение по словарю предметной области онтологии предметной области «Проектирование самолета», отражающей «естественные» связи между понятиями;
- 3) проверка экспертами в данной области получившейся онтологии предметной области «Проектирование самолета», поддержка и наполнение онтологии.

Тезаурус области «Проектирование самолета» можно использовать в качестве инструмента стандартизации и формализации знаний, а также для обеспечения доступа пользователей, которые решают задачи оптимального проектирования самолета.

Тезаурус «Проектирование самолета» предназначен для решения следующих задач:

- классификация и унификация понятий предметной области;
- классификация методов и задач проектирования самолетов;
- построение описаний методов и задач проектирования самолета в базах знаний для поддержки оптимального проектирования самолета;
- классификация и поиск справочной информации по данной тематике.

Онтология проектирования самолета использует тезаурус и необходима для того, чтобы:

- выработать и зафиксировать общее понимание области рассматриваемых знаний;
- представить знания в виде, который удобен для их обработки автоматизированными системами проектирования самолета;
- обеспечить возможность получения и накопления новых знаний;
- предоставить возможность многократного использования знаний.

Онтология описывает основные связи и соотношения между частями процесса проектирования.

Разделим условно процесс проектирования самолета на этапе создания МРО (основополагающий этап внешнего проектирования самолета) на четыре основные составляющие

(подклассы проектирования), которые назовем следующим образом: «Документация», «Обеспечение», «Геометрическая модель» и «Характеристики файла». Каждый из этих классов имеет собственные подклассы. Рассмотрим основные из них.

«Документация» – это часть информации проектирования, которая включает в себя основные сведения об использованных документах на данном этапе проектирования и связь этого этапа с другими этапами проектирования самолета через различные виды документов. В частности, документация включает следующие информационные блоки, сопровождающие проектирование самолета:

- 1) «Рекомендации проектирования» – это набор документов, используемых при проектировании. Например, различные ГОСТы, ОСТы, справочная литература по проектированию;
- 2) «Техническое задание» включает в себя требования к основным техническим данным самолета, таким как: летно-технические характеристики, основные данные по массе самолета; ожидаемые условия эксплуатации; основные геометрические характеристики. Техническое задание предъявляет основные технические требования к дальнейшему проектированию самолета;
- 3) «Компоновочные схемы» – подборка 2D-чертежей конструкции, систем и оборудования, всех основных отсеков и секций самолета, созданных на предшествующих МРО этапах проектирования и непосредственно на этапе МРО, которые будут использованы в дальнейшем для реализации 3D-компоновки самолета на этапе разработки МРО;
- 4) «Данные для следующего этапа» – документация, которая передается по результатам проектирования разработки МРО на следующую стадию – МПЭОИ в виде паспорта самолета и различных результатов проектирования 3D-моделей данного этапа.

«Обеспечение» включает варианты программных продуктов и аппаратной части, используемые при проектировании выбранного этапа разработки самолета. Класс «Обеспечение» имеет следующие подклассы: «Серверное обеспечение» и «Обеспечение проектирования».

«Серверное обеспечение» включает в себя все необходимое для нормальной сетевой работы инженеров-проектировщиков оборудование, которым занимаются специальные системные администраторы, или ответственные за данные работы компетентные конструкторы или программисты.

«Обеспечение проектирования» включает в себя весь необходимый конструктору-проектировщику аппаратный и программный набор инструментов, который используется в процессе проектирования. В частности, это современные программные пакеты CAD/CAM/CAE-системы: CATIA, NX и т.п., под управлением таких соответствующих PDM-систем, как: Enovia, Teamcenter и др. Работы выполняются на персональных машинах под управлением операционной системы Windows или Unix.

«Характеристики файла» описывают основные характеристики (атрибуты) каждого файла 3D-модели, которые оформляются в виде txt-файла, прикрепленного к основному файлу с твердотельной моделью.

Для моделей деталей и сборочных единиц используется следующий минимальный перечень атрибутов: N группы, имя, масса, координаты центра масс, материал.

Часть этих характеристик задается пользователем, часть, которая касается массы и координат центра масс, определяется относительно локальной системы координат построения модели детали с помощью программных средств того CAD-пакета, в котором было произведено моделирование.

«Геометрическая модель» содержит 3D-модели в соответствии с вышеописанным деревом проекта. Вся геометрическая модель включает в себя все 3D-модели самолета на этапе МРО, такие, как: «Мастер-геометрия», «Силовая установка», «Системы и оборудование» и

«Планер». «Геометрическая модель» включает в себя также: внешнюю и внутреннюю компоновку, гидравлическую, электрическую систему, системы кондиционирования, пилотажно-навигационное оборудование, системы обеспечения безопасности и др.

Между всеми вышеупомянутыми классами и подклассами онтологии «Проектирование самолета» авторами описана связь. Например, класс «Обеспечение» *«создает»* «Геометрическую модель». И это означает, что геометрические модели самолета «созданы» инженерами-конструкторами, используя программные и аппаратные средства современных компьютерных информационных технологий.

То есть, онтологическая схема проектирования самолета на этапе МРО включает в себя все составляющие компоненты дерева проекта со всеми 3D-моделями самолета, файлами атрибутами этих моделей и является вариантом описания процесса проектирования эскизного этапа разработки самолета с учетом максимального количества факторов, влияющих на результаты проектирования на данном этапе.

Для представления онтологии проектирования самолета был выбран язык описания онтологий OWL (Ontology Web Language), который состоит из следующих компонентов: классы, свойства классов и индивиды (представители классов или свойств).

Пример вышеописанной онтологии на эскизном этапе проектирования самолета, построенный в редакторе онтологий Protégé версии 3.4.4 (модуль OWLViz), показан на рисунке 3. Представленная в виде семантической сети схема создана на основе разработанной онтологии выбранной предметной области. Англоязычная версия редактора онтологий Protégé позволяет осуществить формальную проверку выполненной онтологической схемы на отсутствие ошибок, всех связей и зависимостей внутри онтологии [9].

Основная часть данной онтологии – это геометрическая модель и ее разделение на субобъекты. Геометрическая модель содержит 3D-модели в соответствии с требованиями внешнего проектирования.

Разработанную онтологию предметной области «Проектирование самолета на этапе эскизного проектирования» планируется расширить и дополнить новыми составляющими, наложить ограничения.

Полученный по результатам моделирования в пакете Protégé 3.4.4 программный код в OWL можно использовать в дальнейшей работе внутри базы знаний, обрабатывая данную информацию в различных приложениях и программах, используя, в том числе, и Java-приложения.

На основе приведенных рассуждений, предлагается технология оптимального проектирования самолета на основе онтологического подхода, последовательность действий в которой следующая:

- **Шаг 1.** Из онтологической базы знаний выделяется часть, относящаяся к геометрической модели самолета.
- **Шаг 2.** Выбираются все составляющие геометрической модели самолета согласно вышеописанного дерева проекта (например, силовая установка и др.).
- **Шаг 3.** Рассматриваются подсоставляющие данной составляющей и формируются модели этих составляющих с учетом их внутренних связей.
- **Шаг 4.** Выполняется синтез модели самолета путем сбора геометрических моделей составляющих самолета из получившихся подсоставляющих частей самолета [1].
- **Шаг 5.** Проверяется выбранный критерий качества Q (например, взлетный вес самолета). Если критерий (условие) выполняется, то процесс проектирования заканчивается. Иначе, происходит переход на шаг 2.
- **Шаг 6.** Конец.

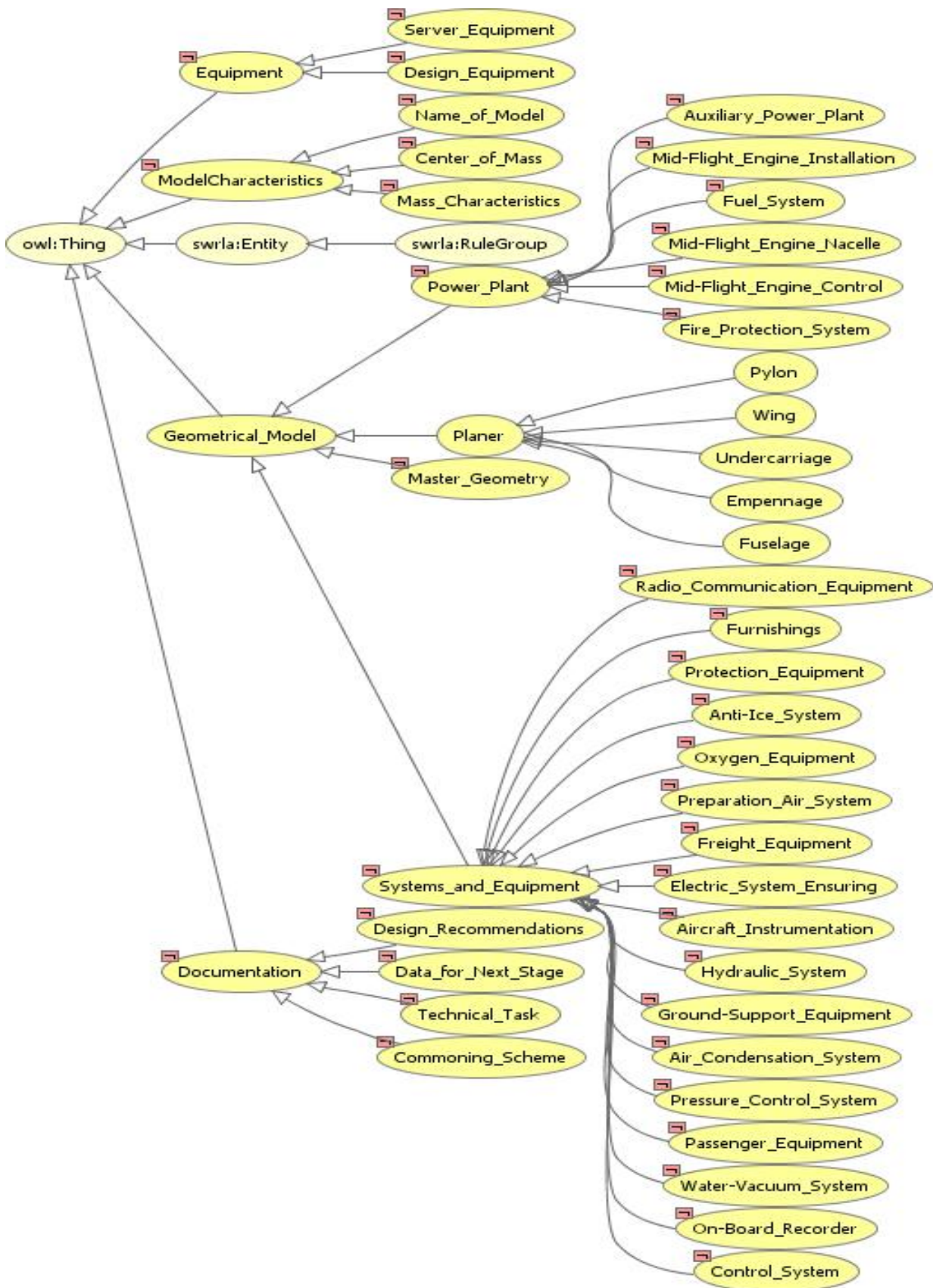


Рисунок 3 – Вариант онтологии проектирования самолета

Заключение

В статье на основе выполненного анализа и изложенных подходов предметной области «Оптимальное проектирование самолета на эскизном этапе» предложен метод проектирования СТО, который позволяет реализовать процесс построения СТО на примере самолета с использованием онтологического подхода. В частности, можно определить следующие пути формализации при проектировании СТО:

- последовательное усложнение и уточнение (нисходящее проектирование);
- последовательное упрощение (восходящее проектирование).

Предложенный подход, по мнению авторов, позволяет существенно уменьшить общее время проектирования СТО благодаря использованию нескольких уровней декомпозиции модели. Применение онтологического подхода упрощает процесс оптимального проектирования, позволяет решить основные задачи современного проектирования на различных этапах создания СТО, согласовать параллельную работу конструкторов над проектом.

Основными преимуществами использования разрабатываемой онтологии проектирования СТО, которая будет дополняться и расширяться, являются:

- 1) эффективное компактное представление системы знаний предметной области «Проектирование СТО» на базе современных информационных технологий (спецификация и концептуализация);
- 2) поиск информации в системе знаний полученной онтологии (получение справочной и обучающей информации);
- 3) постановка и решение необходимых прикладных задач в рамках данной предметной области (задачи весового проектирования, центровка самолета);
- 4) развитие системы и получение новых знаний либо упорядочивание существующих, проверка их непротиворечивости, коррекция дерева проекта самолета.

Список источников

- [1] Зинченко В.П., Борисов В.В. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных технических объектов. // Управляющие системы и машины. – Киев, 2011 – Вып. № 1. – С. 46–56.
- [2] Егер С.М., Мишин В.Ф., Лисейцев Н.К. Проектирование самолетов: Учебник для вузов. / Под ред. С.М. Егера. – 4-е изд. – Логос - М, 2005. – 648 с.
- [3] Егер С.М. Основы автоматизированного проектирования самолетов : Учеб. Пособие для студентов авиационных специальностей вузов. / Егер С.М., Лисейцев Н.К., О. С. Самойлович. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.
- [4] Информационные технологии в наукоемком машиностроении. / Под общей ред. А.Г. Братухина. – К.: Техника, 2001. – 728 с.
- [5] Зинченко В.П., Зинченко С.В., Борисов В.В., Абрамов Ю.В. Электронный документооборот: средства и методы // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: Гос. Аэроком. Ун-т “ХАИ”, 2001. – Вып. № 10. – с. 165–177.
- [6] В. П. Зинченко, Д. И. Конотоп, О. П. Сидоренко, В. В. Борисов. Информационные технологии моделирования компоновки сложного технического объекта // Информационные системы, механика и управление. Вып. № 6. – г. Киев, 2011. – с. 27–34.
- [7] Dmytro Konotop, Ivana Budinska, Valeriy Zinchenko, Emil Gatial. Multi-agent-based conception of modern aircraft design. // Proceedings of 5th Workshop on Intelligent and Knowledge Oriented Technologies, November 11 – 12, 2010, Bratislava, Slovakia, 2010. – p. 125–128.
- [8] Nicola Guarino Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS’98, Trento, Italy, 6-8 June 1998. Amsterdam, IOS Press, pp. 3-15.
- [9] В. П. Зинченко, Д.И. Конотоп, А.В. Деркач, Е.Ю. Абрамов. Концепция применения интеллектуальных технологий в проектировании. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: Гос. Аэроком. Ун-т “ХАИ”, 2011. – Вып. № 49. – С. 169–179.

Сведения об авторах



Конотов Дмитрий Игоревич, 1985 г. рождения. Окончил факультет авиационных и космических систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» (НТУУ «КПИ») в 2008 г. Аспирант кафедры автоматизации экспериментальных исследований НТУУ «КПИ». Сфера научных интересов: информационные технологии в проектировании самолета, онтологии, CAD/CAM/CAE и PDM-системы.

Dmitriy Igorevich Konotop (b.1985) graduated from the aerospace systems faculty of the National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute" (NTU "KPI") in 2008, post-graduate department of automation of experimental investigations NTU "KPI". Research interests: information technologies in the design of aircraft, ontology, CAD / CAM / CAE and PDM-system.



Зинченко Валерий Петрович, 1952 г. рождения. Окончил механико-математический факультет Национального университета Украины им. Тараса Шевченко в 1975 г., к.т.н. (1990 г), доцент кафедры автоматизации экспериментальных исследований НТУУ «КПИ»; лауреат государственных премий Украины в области науки и техники 1994, 2003 годов; ветеран авиационного научно-технического комплекса им. О.К. Антонова. Автор более 300 научных работ.

Valeriy Petrovich Zinchenko (b. 1952) graduated from the faculty of mechanics-mathematics of the Taras Shevchenko National University of Ukraine in 1975, Ph.D. (1990), assistant professor of automation of experimental investigations NTUU "KPI"; State Prizewinner of Ukraine in Science and Technology 1994, 2003; a veteran of Aviation Science-Technical Complex "Antonov". Zinchenko is the author of more than 300 scientific papers.