

Рис.2 - Модель сети в OMNeT++

Для тестирования маршрутизатора была смоделирована сеть, представленная на Рис.2.

Компьютерное тестирование подтвердило работоспособность созданной модели маршрутизатора.

### Литература

1. Полукаров, Д.Ю. Нечеткая аппроксимация метрики протокола IGRP [Текст]/ Д.Ю.Полукаров // Инфокоммуникационные технологии. 2006. Т. 4. № 4. С. 51-54.
2. Бернацкий, Ю.И., Полукаров, Д.Ю. Моделирование распределения сетевых задержек в пакете OMNeT++ [Текст]// Дистанционное и виртуальное обучение. 2013. № 1 (67). С. 48-52.
3. OMNeT++ User Manual [Электронный ресурс]. URL:<http://www.omnetpp.org/doc/omnetpp/manual/usman.html>
4. Стуликова, К.А., Полукаров, Д.Ю. Выбор системы для исследования и разработки механизмов маршрутизации [Текст]// Труды XX Всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2013», Т. 2, Изд-во Санкт-Петербургского национального исследовательского университета, СПб, 2012. – С. 252-253.
5. Vesely V., Bloudicek J., Rysavy O. Enhanced interior gateway routing protocol for OMNeT++ //Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH), 2014 International Conference on. – IEEE, 2014. – С. 50-58.



Д.Э. Цыганков, А.Ф. Похилько

## ПРОЦЕССНОЕ ОПИСАНИЕ 3D-МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ В РАМКАХ МЕТОДОЛОГИИ IDEF

(Ульяновский государственный технический университет)

Современный уровень развития информационных технологий в области проектирования выводит на передний план работу с конструкторской документацией (КД), представленной в электронном виде – трехмерными информационными образами деталей и сборочных единиц – 3D-моделями [1]. Однако, несмотря на ряд положительных аспектов (таких, как простота выпуска и оформления КД, удобство визуализации проектных решений), появляются новые трудности, связанные, прежде всего, со спецификой работы САПР [2].

В соответствии с ГОСТ 2.052-2006, электронная геометрическая модель изделия описывает геометрическую форму, размеры и иные свойства изделия, зависящие от его формы и размеров. Твердотельная модель изделия (3D-модель) представляет форму изделия как результат композиции множества геометрических элементов с применением к ним операций булевой алгебры.

Важнейшей характеристикой 3D-модели, визуализирующей проектное решение, является дерево ее построения (в ряде САПР – «дерево модели») – последовательность проектных операций построения этого решения [3].

В производстве, 3D-модель детали рассматривается исключительно как законченный конструктивный элемент, следовательно, может быть формально представлена в следующем виде:

$$Mod_{3D}^{Det.} = \{ M_{Attr.}^{Det.}, M_{Obj.}^{Det.} \}; \quad (1)$$

где:  $M_{Attr.}$ ,  $M_{Obj.}$  – это множества атрибутов (размеры, материал, шероховатость и др.), описывающих свойства детали, и объектов (отверстие, паз, выступ и др.), описывающих ее структуру (состав). Данные термины являются основными для инженера-конструктора, поскольку описывают готовое проектное решение, и являются необходимыми при добавлении детали в сборку и проектирования ответных деталей.

Описание 3D-модели формулой (1) удобно ввиду своей легкости для конструктора. Главным минусом является то, что она не учитывает внутренние параметры данной модели (параметры проектных операций), в связи с чем, отсутствует возможность установления ассоциативных связей [4] с ответной деталью и другими компонентами сборочной единицы. Это сводится к тому, что проектирование компонент, сопрягаемых с исходной деталью, требует повтора проектных операций вручную с теми же параметрами, а следовательно, дополнительных временных и умственных затрат.

3D-модель детали, с точки зрения используемой САПР, представляет собой упорядоченную последовательность проектных операций, выходит, она



рассматривается уже не как готовое проектное решение, а как процесс его формирования, что формально может быть представлено в виде:

$$Mod_{3D}^{Det.} = \sum Proc_i \{ n_i^{Prc.}, M_{Atr.}^{Prc.} \}; \quad (2)$$

где:  $Proc_i$  –  $i$ -тая проектная процедура, описываемая номером ее выполнения  $n_i^{Prc.}$  и набором атрибутов  $M_{Atr.}^{Prc.}$ .

Процесс формирования 3D-модели – упорядоченная последовательность проектных процедур [5], порядок которой строго определен ввиду учитывания различного типа взаимосвязей между процедурами. Наилучший способ учесть все эти взаимосвязи – описать процесс на базе методологии функционального моделирования IDEFx, оперирующей четырьмя типами взаимосвязей, а именно: «Вход» – исходные данные, «Выход» – результат, «Управление» – ограничения и условия, «Механизм» – средство выполнения.

В рамках данной методологии, 3D-модель, как система проектных процедур, в соответствии с формулой (2) может быть представлена формально следующим образом:

$$Mod_{3D}^{Det.} = \sum Proc_i \langle n_i^{Prc.}, M_{Inp.}^{Prc.}, M_{Out.}^{Prc.}, M_{Par.}^{Prc.}, M_{Con.}^{Prc.}, V_{Way.}^{Prc.} \rangle; \quad (3)$$

где:  $M_{inp}$  – множество исходных данных, необходимых для выполнения  $i$ -той проектной процедуры  $Proc_i$ ;  $M_{out}$  – множество выходных данных выполнения проектной процедуры («выходом» может быть не только 3D-тело, но и вспомогательная геометрия, полученные значения проектных параметров и др.).  $M_{con}$  – множество условий и ограничений на выполнение проектной процедуры,  $V_{Way}$  – средство реализации проектной процедуры (САПР).  $M_{par}$  – множество проектных параметров  $i$ -той процедуры – параметров выполнения проектной процедуры, описывающих и определяющих процесс формирования выходных данных на основании исходных данных:

$$Proc_i (M_{Par.}^{Prc.}) : M_{Inp.}^{Prc.} \rightarrow M_{Out.}^{Prc.}; \quad (4)$$

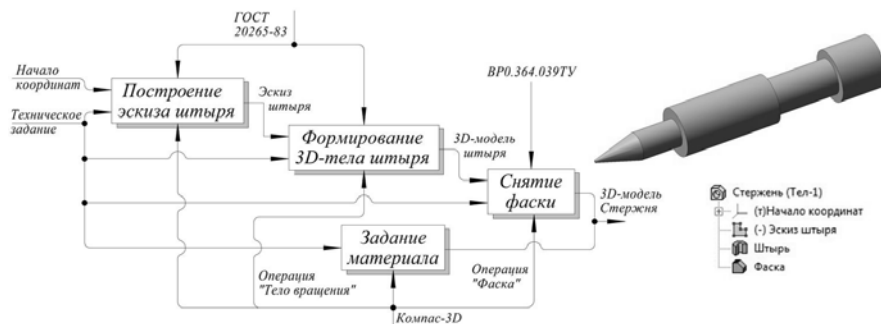


Рис. 1. 3D-модель стержня и IDEF0-модель процесса его построения

На рисунке 1 представлен стержень коаксиальный: его 3D-модель, дерево построения, а также IDEF0-модель процесса построения в САПР «Компас-3D». Как видно, каждая проектная операция оперирует собственным набором проектных данных в соответствии с формулой (3). Выделение дискриминантов



проектируемой детали – проектной информации, обладающей семантической наполненностью и необходимой для полного информационного 3D-образа, и их последующее связывание с параметрами проектных процедур, позволяет построить 3D-модель изделия, параметризованную по проектным параметрам. Это позволит визуализировать процесс проектирования в динамике: в реальном времени отображать влияние исходных данных на проектное решение.

Как правило, в производстве в КД вносится колоссальное число изменений, вызванных различными причинами, что требует своевременного изменения проектных решений, полученных в соответствующих САПР. Для учета этих изменений необходимо своевременно изменять 3D-модели. Это можно делать вручную, затрачивая дополнительные временные и трудовые ресурсы, либо автоматизировать этот процесс на основе установления ассоциативных связей между атрибутами твердотельной модели в соответствии с процессным описанием 3D-модели. Таким образом, программная реализация рассмотренного подхода к описанию 3D-объектов позволит строить полностью параметризованный 3D-образ изделия, поддерживающий изменение исходных данных и отображение их влияния на проектное решение.

### Литература

1. D. Tsygankov, A. Pokhilko, A. Sidrichev, S. Ryabov, O. Kozintsev, The Design Process Structural & Logical Representation in the Concurrent Engineering Infocommunication Environment, R. Curran et al. (eds.) Transdisciplinary Lifecycle Analysis of Systems, IOS Press, Amsterdam, 2015, pp 595-602.
2. Kamalov L.E., Pokhilko A.F., Tylaev T.F. A Formal Model of a Complex Estimation Method in Lean Product Development Process. Proceedings of the 17th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, 2010, pp. 285-289.
3. Tsygankov D. The Design Process Procedural Representation Based on Open CASCADE Technology / D. Tsygankov, A. Pokhilko // Interactive Systems: Problems of Human-Computer Interaction. Collection of scientific papers, Ulyanovsk: USTU, 2015, pp. 232-235.
4. Pokhilko A.F., Kamalov L.E. The Process Approach to Synthesizing and Analyzing of 3D Representations of Complex Technical Objects//Pattern Recognition and Image Analysis, 2013, Vol. 23, № 1, pp. 68-73.
5. O. Kozintsev, A. Pokhilko, L. Kamalov, I. Gorbachev, D. Tsygankov, A Model for Storing and Presenting Design Procedures in a Distributed Service-oriented Environment, J. Cha et al. (eds.) Moving Integrated Product Development to Service Clouds in the Global Economy, IOS Press, Amsterdam, 2014, pp. 84-91.