

# Проектируем или только моделируем?

## Критический взгляд на технологию работы в CAD-системах

Фирсов В.А., начальник бюро САПР (ОАО НПП “Старт”, г. Екатеринбург)

### Преамбула

Толчком для написания этой статьи (идея и необходимость созрели уже давно) послужила фраза из коммерческого предложения дилера одной известной CAD-системы так называемого среднего уровня, где было сказано: “Функционал системы ... включает: проектирование больших сборок без ограничения количества компонентов”. (*Курсив мой – Ф.В.*)

Что это – откровенная ложь, некомпетентность или некорректное применение терминологии? Первые два варианта оставим на совести автора этой фразы. Давайте попробуем разобраться с третьим...

### Проблемы терминологии

Технология информационной поддержки жизненного цикла изделия (ИПИ) уже давно стала отдельной областью знаний. Как известно, чтобы разбираться в какой-то области и хорошо понимать все тонкости, необходимо в первую очередь создать терминологию, усвоить её и правильно применять.

В этой статье я хочу обсудить сущность двух терминов: “проектирование сверху-вниз” и “проектирование снизу-вверх”. Эти термины являются основополагающими в определении технологии работы в CAD-системе и, как это ни парадоксально, самыми запутывающими.

Дилеры CAD-систем, не обладающие компетентностью в предметной области конструкторов, эти понятия различают слабо. Ну а те, которые обладают – часто “проглатывают” их окончания, а потому на всех семинарах звучит пресловутая фраза “в нашей системе спроектировано...”. Такие громкие заявления и вольное обращение с терминологией вносят в головы руководителей подразделений САПР путаницу и вызывают затруднения в определении истинных возможностей предлагаемой CAD-системы. Наглядным примером служит фраза из коммерческого предложения, приведенная выше. После слова “проектирование” должно бы следовать уточнение: “сверху-вниз” или “снизу-вверх”. Впрочем, мало кто из потенциальных клиентов обратит на это внимание, ведь главное уже прозвучало – **проектирование...**

Когда конструктор слышит это слово, в его голове автоматически выстраивается вся последовательность шагов этого сложного процесса:

- 1 техническое задание;
- 2 концепция изделия;
- 3 компоновка изделия;
- 4 деление изделия на составные части;
- 5 детальная проработка агрегатов;
- 6 контрольная сборка изделия;
- 7 выпуск конструкторской документации;
- 8 внесение изменений в проект.

Представляют ли всю эту цепочку дилеры, когда говорят “наша система поможет вам спроектировать”? Похоже, что только некоторые из них, да и то, лишь в последнее время.

Появление на рынке пакетов *SolidWorks*, *Solid Edge* и им подобных сыграло двойную роль. Об их “революционности” сказано уже много. Но, как известно, всякая революция имеет свои “издержки”. В этой связи я бы хотел отметить два аспекта.

Первый заключается в следующем. Применение CAD-систем среднего уровня пошло по пути создания трехмерных моделей на основе чертежей или эскизов уже готовых проектов. Такая технология работы позволяет осуществлять на компьютере контрольную сборку узлов и изделий, что нужно для проверки собираемости и устранения ошибок, во избежание производственного брака. К сожалению – только исправимого брака. Такого, например, когда диаметр вала больше диаметра втулки. А если меньше? Эту ошибку контрольная сборка вам показать не сможет. И это уже будет неисправимый брак! А если это не тривиальный вал, а очень дорогая в изготовлении деталь?..

Аспект второй. В конструкторских отделах созданием моделей по готовым чертежам занимаются в основном молодые специалисты, выполняя достаточно рутинные операции по переносу информации с бумаги в компьютер. Такая работа лишает их возможности мыслить критериями процесса проектирования и расти как специалистам своего дела. Вместо профессионального роста начинающий конструктор скатывается до уровня чертежника, и заставить его потом думать будет очень сложно.

Однажды из уст специалиста в области CAE-систем я услышал фразу: “Так проектируйте детали отдельно, а потом собирайте их в узел”. У меня в голове сразу возникла ответная идея: “Попробуйте решить задачу на прочность без краевых условий”. Казалось бы, абсурдное предложение. Ан нет! Оказывается, в CAD-системе такая постановка задачи вполне приемлема и, что самое интересное, она находит своих поклонников. Теперь конструктор и в самом деле создает одну деталь в одном файле, вторую – во втором, а затем собирает их в сборку уже в третьем. Потом долго их вертит туда-сюда, получая эстетическое удовольствие от объемного вида, после чего проводит автоматический анализ на собираемость. Казалось бы, всё красиво и правильно. Однако, вполне вероятно, что к этому времени враг – неисправимый брак – уже появился и затаился.

Получается, что такой подход к процессу проектирования не может избавить конструктора от его ошибок. В подтверждении своих слов хочу привести фразу из учебника по САПР: “Основными достоинствами САПР являются возможности резко повысить производительность труда и быстрого исправления допущенных ошибок”. Вдумайтесь в эти слова: не “не допускать” появления ошибок, а “исправлять” их. При этом исправляют лишь то, что обнаружено. А что не обнаружено?

Впрочем, всё это не удивительно, ведь CAD-системы среднего уровня первоначально и не предназначались для проектирования. Разве что российская

система *T-FLEX*. К сожалению, техническая дирекция этой компании медленно развивает технологию проектирования, уделив всё внимание функционалу для создания модели.

Чем же занимается конструктор, когда пытается проектировать узел, создавая детали в разрозненных файлах? Проектирует? Нет. Таковую технологию в принципе нельзя называть проектированием, так как она не предусматривает главного – компоновки изделия и деления его на составные части для последующей детальной проработки агрегатов.

В таком случае, как тогда правильно называть эту технологию? Поинтересуемся, что нам говорит по этому поводу “Терминологический словарь” (ГОСТ Р 50.1.031-2001). К сожалению, разработчики стандарта не смогли внести ясность в концептуальное различие двух понятий – “проектирование снизу-вверх” и “проектирование сверху-вниз”. Там их просто нет. Хотя в тексте даны такие понятия как “проектирование концептуальное” и “моделирование изделия общее”.

Когда конструктор одежды создает новое лекало, он называет этот процесс проектированием, а когда собирает из ранее созданных частей – моделированием.

**Предлагаю термин “проектирование сверху-вниз” заменить на просто “проектирование”, а “проектирование снизу-вверх” – на более правильный термин “моделирование”.** Неплохо было бы специалистам АНО НИЦ *CALS*-технологий “Прикладная логистика”, самой авторитетной организации по ИПИ-технологии, навести порядок в терминологии, дать четкое определение понятий “проектирование” и “моделирование”. Тогда и Дилер, и Конструктор смогут говорить на одном языке и одинаково трактовать возможности обсуждаемой системы.

Не секрет, что к каждому потребительскому товару прикладывается инструкция по его применению. По идее, если разработчик *CAD*-системы заявляет о возможности *проектировать* средствами его системы, то технология проектирования должна быть уже в “коробке”. Однако, открыв “Руководство пользователя”, видишь, что оно посвящено описанию того, как надо *моделировать* деталь. А как спроектировать изделие? Это было обещано только в коммерческом предложении и на словах. При этом на просьбу: “Будьте добры, расскажите о самой технологии проектирования”, следует оскандаливающий ответ: “Купите – потом расскажем”. Интересно, что услышал бы в ответ продавец-консультант в обычном магазине, скажи он такое покупателю? ☺

## Классификация *CAD*-систем

Считается, что возможности *CAD*-систем различного класса начинают выравниваться и по функционалу моделирования детали, и по количеству компонентов в сборке. Тем не менее, в периодической литературе уже встречаются статьи, где говорится, что предприятия переходят с *CAD*-систем среднего уровня на “тяжелые”. Получается, что дело не только в одной функциональности создания модели... Скорее всего, конструкторы и менеджеры этого предприятия стали понимать, что на

одном моделировании далеко не уедешь. Но поняли они это, когда затраты, и не малые, на закупку и внедрение “средних” *CAD*-систем уже были сделаны и время потеряно.

Думаю, что предприятия могли бы делать более правильный выбор, если бы классификация систем была совершеннее, а дилеры не подменивали терминологию в коммерческих предложениях. На мой взгляд, назрела острая необходимость пересмотреть сложившуюся классификацию, чтобы случаев из разряда – “внедрили, но не то” – было как можно меньше.

В статье “О “новом взгляде” на классификацию САПР” (*Observer* #5/2007) проблема новой классификации уже затрагивалась, и прозвучало предложение сделать одним из главных классификационных признаков уровень интегрированности всех приложений и широту охвата решаемых задач. А всё же, что является главным?

Главной задачей конструктора является “спроектировать...”. Главной задачей конструкторского коллектива – спроектировать совместно. От этой “печки” и предлагаю начинать классификацию. **Главным классификационным признаком *CAD*-системы необходимо сделать то, “проектирует” она или “моделирует”;** ну а потом уже можно уточнять всё остальное: подклассы-виды-подвиды...

Наверное, стоит обратиться к НИЦ “*CALS*-технологий” от лица всех проектных организаций машиностроения и попросить провести независимую классификацию *CAD*-систем по новому признаку. В свою очередь, от лица нашего предприятия хочу поделиться опытом в отношении *SolidWorks*.

## Опытная эксплуатация *SolidWorks*

Всем отлично известно, что пакет *SolidWorks* хорошо справляется с задачей твердотельного моделирования, и что у него есть функционал поверхностного моделирования. То есть, его можно на полном основании отнести к классу систем для моделирования. Давайте посмотрим, можно ли отнести его к классу систем для проектирования.

На нашем предприятии в настоящий момент, при поддержке компании “Делкам-Урал”, проводится опытная эксплуатация *SolidWorks* с целью выяснения этого вопроса. Хочу признаться сразу, что я долго был противником внедрения этой САПР. Наше предприятие является проектной организацией, и занимаемся мы именно проектированием систем вооружения. Большая популярность и успехи применения *SolidWorks* в моделировании расценивалась руководством нашего конструкторского центра как залог успеха и в проектировании. То есть мы, некоторым образом, “купились” на часто произносимое слово “проектирование”, считая со своей стороны, что проектировать на компьютере – это просто “двигать кубики”. Оказывается, не всё так просто...

Первая попытка проектирования в среде *SolidWorks* на одном из предприятий уральского региона оказалась неудачной. (Я говорю только об известных мне случаях, поэтому если где-то были успешные попытки, предлагаю знающим людям поделиться информацией.) Неудача

была заложена в самом алгоритме проектирования, и *SolidWorks* не смог справиться с этим. Когда состав изделия достиг около 700 компонентов, сборочная модель “развалилась”. Ошибка алгоритма состояла в том, что контрольная сборка изделия делалась в том же файле, где создавалась эскизная компоновка. Произошло своего рода “закольцовывание” ссылок файлов деталей и сборок проекта.

При изучении реальных возможностей систем проектирования (я имею в виду *NX* и *T-FLEX*), у меня постепенно сложился компьютерный алгоритм проектирования. Он очень схож с бумажной технологией проектирования. И это не удивительно, другого принципа проектирования пока просто нет! С выходом версии *SolidWorks 2006* появилась возможность попробовать реализовать алгоритм на основе блоков. Специалисты “Делкам-Урал”, ознакомившись с предложенным мной алгоритмом, проверили его на тестовом примере и подписали с нами договор на опытную эксплуатацию.

Для проведения опытной эксплуатации был взят рабочий проект с конкретными сроками. Это было большим риском с нашей стороны – выполнять рабочий проект на новом, “необкатанном” алгоритме, без какого-либо опыта коллективного проектирования. С другой стороны, это было хорошим стимулом доведения проекта до конца – ведь отступать некуда.

## Алгоритм проектирования

Прежде чем перейти к самому алгоритму, уместно вспомнить теорию проектирования. Возьмем первый том “Основ конструирования” П.И.Орлова. В главе “Методика проектирования” читаем: “Компоновка изделия обычно состоит из двух этапов: эскизного и рабочего. При компоновке важно уметь выделить главное из второстепенного и установить правильную последовательность разработки конструкции. Надо идти от общего к частному, а не наоборот. Выяснение подробностей конструкции на данном этапе не только бесполезно, но и вредно, т.к. отвлекает внимание конструктора от основных задач компоновки и сбивает логический ход разработки конструкции”.

Как видим, во главу угла ставится компоновка. Впереди, конечно, идет идея, но в этом САПР нам пока не помощник.

Компьютерный алгоритм проектирования состоит из трех блоков:

- 1 компоновка изделия и деление изделия на составные части;
- 2 детальная проработка агрегатов;
- 3 контрольная сборка изделия.

Алгоритм позволяет сохранить принцип проектирования вообще и обеспечить работоспособность технических и программных ресурсов в частности. Принцип распределения информации об изделии должен проходить красной нитью сквозь весь алгоритм проектирования. Процесс создания информации должен быть распределен по шагам. Каждый шаг отвечает за свою часть информации. Для соблюдения этого принципа на каждый проект должна создаваться своя модель данных алгоритма: где что создается и куда передается.

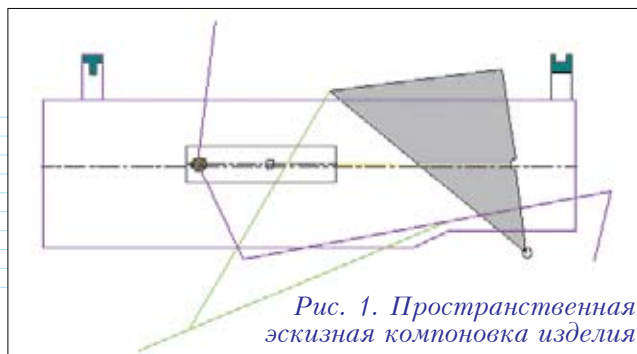


Рис. 1. Пространственная эскизная компоновка изделия

Такой подход дает возможность:

- избежать создания огромного массива данных в одном файле и замедления работы САД-системы;
- выполнять пошаговое, наглядное проведение изменения, не допуская при этом появления новых ошибок в результате изменений;
- ускорить поиск места возникновения ошибки.

Проектирование новой конструкции всегда начинается с компоновки. Независимо от применяемой САД-системы, базовые принципы и методы работы человека остаются всё теми же. И если функционал системы не предлагает специальных инструментов для компоновки, то мы всё равно её делаем – на бумаге, либо в голове. В компьютерном проектировании “эскизная компоновка” должна быть эскизной не только по названию, но и по сути (рис. 1).

Компоновка должна быть представлена как можно более простыми геометрическими примитивами (линии, плоскости, оси). Не стоит перегружать компоновку 3D-моделями и, тем более, всевозможными технологическими уточнениями (фаски, проточки и т.п.). В эскизном представлении конструктору проще видеть идею изделия. При этом система сможет быстрее пересчитывать перестроения, вызванные внесенными изменениями: ведь пересчет коснется не только файла “Компоновка”, но и всех остальных файлов, ассоциированных с ним, а таких может оказаться немало. Понятно, что я говорю о проекте сложного изделия, которое делится на десятки технологических сборочных единиц, состоит из пространственных кинематических механизмов протяженностью в несколько метров, имеет высокую плотность компоновки (много ограничивающих плоскостей). Здесь должен работать принцип достаточности. Как только суть конструкции стала ясна для понимания, а построения определены, необходимо переходить к следующему этапу проектирования – так сказать, “от общего к частному”.

Эскизная компоновка – это еще и техническое задание (ТЗ) для детальной проработки агрегатов. Качество и скорость разработки агрегатов напрямую зависит от правильности составления технического задания. Правильность эта заключается в адаптивной изменяемости компоновки и корректном обновлении дочерней геометрии в файлах агрегатов.

Деление изделия на составные части происходит передачей (выгрузкой) графической информации из файла “Компоновка изделия” в файл “ТЗ агрегата”. В этом файле на основе полученной геометрии, создается



объемная геометрия тел будущих деталей, формируется структура сборочных единиц (рис. 2).

Далее начинается процесс детальной проработки агрегата. После его завершения “тело” детали выгружается в файл “Деталь агрегата” (рис. 3). В этом файле осуществляется технологическое уточнение детали – варианты технологии исполнения, операции (фаска, проточка, канавка) и т.п.

Теперь можно приступать к созданию контрольной сборки агрегата/проекта (рис. 4). Сборка компонентов выполняется в полуавтоматическом режиме: необходимо только указать, какие детали включить в состав сборочной модели. Сопряжение деталей и сборок происходит автоматически на основе геометрии эскизной компоновки. Компоненты из разделов “стандартные” и “покупные” позиционируются вручную.

Роль контрольной сборки в проекте следующая:

- получение полной цифровой модели изделия;
- включение в структуру изделия стандартных и покупных деталей;
- проектирование деталей “по месту” на стыке двух составных частей;
- определение конфликтных зон между составными частями изделия;
- создание структуры изделия для последующего формирования текстовой документации проекта.

### Требование к САД-системе

На основе изложенного алгоритма попробую сформулировать основные требования к системе, которую можно было бы классифицировать, как соответствующую критерию “поддерживает проектирование”. Необходимо понимать, что проектирование подразумевает постоянные изменения геометрии, состава и уровня вложенности сборочных единиц, обмен данными между ассоциативно связанными файлами.

Инструментарий системы проектирования должен обеспечивать следующее:

- выполнять все известные геометрические построения на плоскости и в пространстве с наложением адаптивных связей и параметрических зависимостей;
- “выгружать” любой геометрический объект (тело, линия, плоскость, ось, точка) из одного файла (родительский) в другой (дочерний) как ассоциативный фрагмент (блок). Одна и та же геометрия может быть выгружена несколько раз в различные фрагменты;

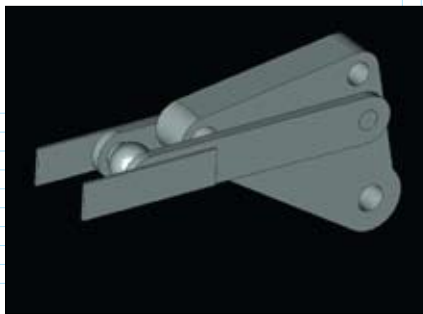


Рис. 2. Детальная проработка компоновки агрегата

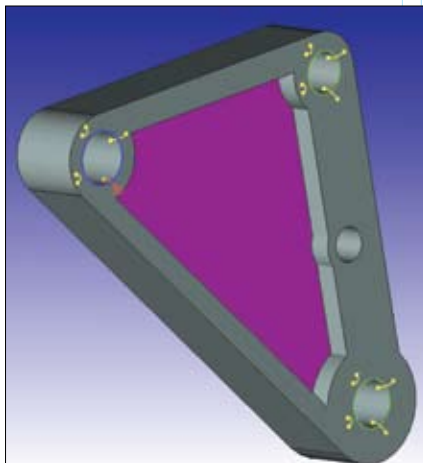


Рис. 3. Моделирование детали с учетом технологии её изготовления



Рис. 4. Установка стандартного изделия в контрольной сборке

- дочерний файл может содержать фрагменты, полученные от различных “родителей”;
- управлять ссылкой на местоположение файла фрагмента;
- в ассоциированном файле фрагмента должна быть информация о его “родителе”;
- многопользовательский доступ к фрагментам в контексте “родительского” файла и контрольной сборки;
- получать в контрольной сборке информацию об изменении и ошибках во фрагменте;
- пакетное включение деталей в контрольную сборку;
- и т.д.

Предлагаю продолжить этот список тем, кто имеет опыт проектирования и кому есть что добавить.

### Немного о PDM

Я не упоминал о необходимости PDM-системы в процессе проектирования. Впрочем, в литературе и так достаточно сказано об этом, хотя информации о внедрении PDM в ракурсе проектирования очень мало. В основном, PDM-система идет вслед за моделированием, и поэтому используется в качестве файлового хранилища, где состав изделия заводится вручную на основе бумажной спецификации или сборки, составленной из 3D-моделей.

В нашем случае в роли PDM-системы выступала программа “Навигатор СП” (разработчик – компании “Глосис”). Надо сказать, она хорошо подходит для формирования текстовой документации (спецификаций) на основе сборок SolidWorks.

В прошлом году SolidWorks Corporation анонсировала “родную” PDM-систему – PDMWorks Enterprise. Это большой шаг компании в сторону обеспечения возможности проектирования в

SolidWorks. Полагаю, читателям не нужно объяснять преимущества интегрированной PDM-системы перед сторонними разработками (конечно, если они принадлежат к одному классу). К настоящему моменту эта система уже русифицирована, и первое знакомство с её алгоритмом, функционалом и интерфейсом позволяет рекомендовать PDMWorks к опытной эксплуатации. ☺

(Продолжение следует)