

**МЕТОДИКА ОСВОЕНИЯ СИСТЕМЫ 3D-ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
SOLID WORKS**

**С. А. Мустафин, к.т.н., П. В. Май**

Институт проблем информатики и управления

---

Solid Works Windows-қосымшасының көмегімен үш өлшемді моделдеуді игеру әдістемесінің кейбір ерекшеліктері берілген. Мақалада үш өлшемді моделдеу пакетімен жұмыс істеу біліктілігін беру үшін жобалаушы мамандарды даярлау және қайта даярлау курстарында оқыту тәжірибесі ұсынылған.

**Түйінді сөздер:** Solid Works жобалау жүйесі, үш өлшемді моделдеу.



In this article we showed some methods of solid modeling using Windows application SolidWorks system. The article shows the experience of training courses for the specialists to get skills to work with 3D Solid Works system.

**Key words:** 3D modeling, 3D Solid Works system.

Основой автоматизированных систем проектирования являются компьютерные модели, позволяющие:

- определять поведение конструкции и ее функциональных узлов в зависимости от внешних факторов,
- описать геометрию деталей,
- провести тепловые и прочностные расчеты,
- изучить поведение конструкций в экстремальных ситуациях,
- автоматизировать создание технологической документации и использовать типовые решения.

Компьютерные модели дают возможность отойти от дорогостоящих натуральных экспериментов, значительно сокращая затраты на создание новых конструкций, и часто являются единственным инструментарием для проведения моделирования.

Первые системы геометрического моделирования машиностроительных изделий являются специализированными графическими ре-

дминистрами, их возможности ограничены вычислительными ресурсами компьютеров. Эти системы автоматизируют процесс создания изображений с помощью специально разработанного языка, содержащего конечное множество плоских примитивов и определенный набор правил над ними.

Современное состояние вычислительной техники и возможности специалистов накладывают определенный отпечаток на тип операций, используемых при решении задач проектирования:

- каждый элементарный акт изменений производится не с объектом в целом, а лишь с некоторой его частью;
- акты таких изменений производятся последовательно: на каждом следующем шаге используется некоторая информация, характеризующая текущее состояние процесса проектирования.

Развитые CAD-системы расширили представление конструктора о процессах проектирования объекта и позволяют создавать сборочные 3D-модели, состоящие из нескольких сотен деталей. Сборки позволили моделировать реальные механизмы, состоящие из большого количества деталей, проводить анализ механизмов в действии.

Процесс получения хороших моделей при построении систем проектирования является нетривиальным творческим процессом и плохо поддается формализации, но позволяет интерактивно создавать сложные сборки, моделирующие реальные объекты [1].

Невозможность формализации процесса построения моделей приводит к ряду недостатков CAD-систем:

- отсутствие наглядности процесса задания объекта;
- отсутствие удобной параметризации созданного ранее объекта;
- потеря информации о самом объекте и его связях с другими объектами;
- постоянные изменения условий среды;
- изменения после исправления ошибок.

Следует отметить, что постоянно происходит устранение недоработок этих систем в целом, которые являются, как отмечено выше, результатом слабой формализации решаемых проблем. Некоторые психологические проблемы при освоении CAD-систем определяются существованием этих недостатков.

При переходе от проектирования на бумаге к электронному проектированию в 2-мерной среде на основе *AutoCAD*, *Компас* и др. систем конструктор имеет гораздо меньше проблем, чем при переходе на конструирование в 3D-среде. Как показывает опыт эксплуатации современных систем (*AutoCAD*, *Компас*, *Cimatron*, *Inventor*, *Solid Works*, *Solid Edge*, *Pro Engineer*), в большинстве случаев хорошо работают в 2D-черчении первые 3 (хотя эти программы позволяют проводить моделирование в 3D-среде), из-за отдельных недостатков редактирования конструкторской модели используются реже [2]. Несмотря на специальные работы в 3D-среде, удобнее моделировать в специализированных приложениях Autodesk. Конструкторские программы последних версий систем *AutoCAD*, *Компас*, *Cimatron*, *Inventor*, *Solid Works*, *Solid Edge*, *Pro Engineer* имеют 3D-модуль. Однако для задач проектирования из разных предметных областей используются различные системы. В большом числе работ, посвященных решению задач такого типа, можно, по-видимому, выделить некоторые основные направления. Сознавая условность такой классификации, все же приведем ее. В соответствии с этими задачами системы геометрического 3D-моделирования можно условно классифицировать так:

- для проектирования *сложных промышленных изделий* (например, самолетов, вертолетов, автомобилей и т. д.) применяют *Unigraphics* и другие САПР «тяжелого» уровня;
- для создания архитектурных работ применяют *ArchiCAD*;
- для геометрического моделирования машиностроительных изделий *средней сложности*, например металлургического оборудования, применяют *Solid Works*, *Inventor*, *Solid Edge*, *Pro Engineer*.

В литературе отмечается, что пользовательский интерфейс *Solid Works* (SW) прост, удобен и достаточен по возможностям, как и методический переход по аналогии при построении модели – от простого к сложному, от плоскости к пространству. Существует мнение, что конструктор, пользователь Windows, практически ничего не знающий о программе *Solid Works*, может сразу начать работать в ней и получать готовые чертежи проектируемых деталей и изделий гораздо быстрее, чем в *AutoCAD*. Однако опыт эксплуатации показывает, что подавляющее большинство пользователей системы считают, что для реального проектирования сложных узлов и машин 3D-среды, такие системы SW

малопригодны ввиду чрезмерной сложности моделирования и соответственно большого количества затраченного времени на проектирование и выпуск рабочей конструкторской документации. Реально моделирование применяется ими для создания моделей деталей и небольших сборок сложных геометрических форм, которые в 2D-среде осуществляются достаточно сложно [2].

В действительности за этими утверждениями стоит опасение перед определенными особенностями 3D-проектирования, которые понятны опытным пользователям *SW*. В отличие от 2-мерного 3-мерное моделирование расширяет множество возможностей, правил работ и соответственно расширяется множество ошибок, о которых система сообщает пользователю красным и желтым выделением элементов в дереве построения сборок/деталей и/или отмечает определенным цветом неверно построенные элементы на экране.

При работе с компьютерной программой пользователь работает в интерактивном режиме, что является серьезным психологическим барьером для конструкторов, реализующих ранее на бумаге или при 2D-проектировании практически любые свои предположения, подчас расходящиеся с реальностью. Как следствие, эти решения часто не могли быть полностью реализованы в процессе изготовления, что может привести к несогласованности между изготовителями, заказчиками и проектировщиками. Таким образом, 3D-пользователь постоянно ощущает присутствие некоего «контролера» в его работе. Кроме того, в случае «ручного» проектирования на бумаге или 2D-проектирования на компьютере, при контроле работ руководителем группы, у пользователя всегда есть возможность проконсультироваться с руководителем, привести свою аргументацию.

Интерактивность при электронном проектировании вызывает опасение количеством появляющихся ошибок моделирования и кажущейся невозможностью их исправить. Существует общая рекомендация для конструкторов - периодически сохранять файл в процессе моделирования, чтобы в случае возникновения ошибки закрыть файл без сохранения и начать заново моделировать «проблемный» участок. Данный прием применим, но он трудоемок, поскольку увеличивает время работы по устранению ошибок.

При этом добавляется и опасение перед возможными изменениями в процессе 3D-проектирования крупных сборок, узлов и машин – точнее, перед будущими возможными ошибками при дальнейшей работе с программой. В большинстве случаев изменения в конструкции немедленно отражаются на взаимосвязях элементов: в дереве сборки отображаются красным или желтым цветом элементы и/или взаимосвязи, которые ошибочны или не могут быть наложены. Пользователь тут же теряется – не зная, как выйти из этой ситуации, как исправить ситуацию. Поэтому он интуитивно избегает моделировать крупные сборки, так как в случае внесения изменений ему приходится заново моделировать ранее созданный файл сборки, начиная с изменений в базовой детали, и по ходу вносить необходимые изменения во все производные детали, т. е. практически полностью приходится вновь начинать сборку. Именно этот аргумент приводят противники комплексного внедрения 3D-сред в конструкторских отделах, утверждая, что 3D-проектирование вызывает рост временных затрат при разработке рабочей конструкторской документации. А такие положительные моменты моделирования в SW, как: безошибочность рабочей конструкторской документации ввиду постоянной взаимосвязи любого чертежа сборки и детали на любом уровне с базовой моделью; полная проверка сборки на совместимость и любой детали на безошибочность геометрии; возможность ее изготовления на станках с ЧПУ без построения кода программы обработки и другие положительные моменты отходят на второй план.

Отметим, что у высококвалифицированных конструкторов, хорошо представляющих себе процесс реального изготовления деталей и узлов машин, переход от 2D-проектирования на 3D-проектирование не вызывает больших трудностей.

Преимущества, которые влечет за собой переход к 3D-моделированию, и создание полного комплекта рабочей конструкторской документации машин различной сложности в одной программной среде, для опытных специалистов не требуют дополнительных подтверждений. Несмотря на это, конструктор независимо от квалификации сталкивается с ошибками, которые неизбежны - для их исправления/недопущения предлагается методика работы с ошибками. Дать описание всех ошибок, возникающих у пользователей при 3D-проектировании в

SW, невозможно из-за большого многообразия задач и разной квалификации пользователей.

Рассмотрим особенности освоения проектирования сложных машин и деталей сложных геометрических форм в трехмерной среде и методы исправления/недопущения ошибок проектирования. Следует отметить, в общем случае интерфейс программы SW и принципы ее работы являются дружелюбными к пользователю, настроенному обучаться реальному моделированию и созданию чертежей [3].

Процесс конструирования машины либо ее узла представляет собой последовательность следующих 3-х этапов:

1. **Создание на основе предварительной информации и предварительных эскизов наметок будущей конструкции**, т. е. испытательных моделей базовых деталей и узлов, определяющих всю последующую конструкцию, либо самых проблемных узлов конструкции для принятия рациональных конструкторских решений. Инженерный анализ моделей включает определение схемы закрепления и нагрузок на данные узлы, нагружение их в соответствующих приложениях SW - COSMOS, Simulation, Motion и др. [5]. Данные модели должны быть максимально упрощены, желательно узлы сборок объединить или выполнить в виде деталей – пусть и сложной геометрической формы. Например, при испытании конструкций, представляющих симметричные изделия (например, тела вращения), нужно стремиться к тому, чтобы испытательная модель представляла собой половину, либо даже четверть реальной конструкции с необходимой корректировкой схемы закрепления и нагружения. Итогом работы этапа является то, что базовые элементы будущей конструкции испытаны в приложениях SW, согласованы и конструктивно утверждены.

2. **Создание конструкторской модели**. На этом этапе происходит учет всех требований стандартов, нормалей и т. п. Также необходимо произвести окончательно согласование конструкции со смежными отделами (ОГТ, ОГС, литейным отделом и т. д.) и/или организацией-изготовителем, а также, если возможно, с конечным заказчиком.

3. **Создание рабочей конструкторской документации**. Сдача рабочей конструкторской документации в производство, конечному заказчику. В случае объединения проектирования и производства в единый цикл данный этап может быть преобразован в передачу моде-

ли в виде данных для станков с ЧПУ (CAD Works, Gibbs CAM, cnc Cad), деталей штампов (Logo press), деталей пресс-форм (Mold Works) и других специализированных программ.

В литературе по SW указано, что геометрические элементы эскизов до полного определения должны быть привязаны к исходным точкам: в этом случае они окрашиваются на экране черным цветом, а неопределенные элементы - синими [4]. Иногда при построении эскизов сложных геометрических форм никак не удается сделать все элементы черными - тогда помогает функция системы «полностью определить эскиз». В этом случае SW иногда ставит дополнительные связи, размеры, которые помогают пользователю понять, как лучше установить взаимосвязи, чтобы полностью определить эскиз либо автоматически наложить недостающую взаимосвязь. В дереве построения полностью определенный эскиз отображается специальным способом. Добавим к этому, что при создании эскиза необходимо тщательно продумывать, как привязать элемент эскиза либо его базовую плоскость к исходной точке, либо исходным плоскостям. Этот простой прием позволяет в дальнейшем, при создании сборки значительно облегчить процесс наложения взаимосвязей [3].

Независимо от типа ситуации система решает задачу автоматического добавления связей. Такие связи могут быть двух видов:

- привязка геометрических примитивов к друг другу;
- связи, фиксирующие положение примитивов, ориентацию и размеры.

В некоторых случаях SW не может автоматически наложить необходимую взаимосвязь. Например, касание круговой кромки и радиальной поверхности. В этом случае можно поступить следующим образом. Определить интерференцию компонентов, найти положение, при котором поверхности касаются или практически касаются, и фиксируем подвижную деталь доступной взаимосвязью, как правило, расстоянием от базовой плоскости до ближайшей определенной поверхности ответной детали, либо до какой-то из базовых плоскостей сборки. Таких примеров можно привести множество.

Другим приемом построения сборок и реже - деталей сложных геометрических форм, является введение определенных зависимостей в исходный эскиз, от построения которого начинается моделирова-

ние [4]. Данный принцип не всегда применим в проектировании, так как не каждая конструкция основана на исходном положении, который определяют дальнейшие построения. Но даже если исходный эскиз не применяется, необходимо при создании деталей и сборок тщательно проанализировать в начале - при самых первых геометрических построениях определить возможные изменения в деталях и их реализацию в модели без геометрических ошибок и взаимосвязей элементов.

Также мы рекомендуем пользователям не вносить изменения в эскиз *SW* на экране либо в модель в момент обсуждения конструкции с коллегами, с руководителем или с заказчиком. Дело в том, что конструктор-консультант думает локально - прежде всего об элементах и их окрестностях, которые надо изменить, а не о нарушении геометрии эскиза/модели и взаимосвязях в целом. Простым и эффективным приемом в данной ситуации является фиксирование на бумаге предложений руководителя, коллег, заказчика, возможно, в виде элементарного эскиза с комментариями. А затем продумать, как следует внести данные изменения в конструкцию с минимумом ошибок в геометрии/перестроений для демонстрации готового результата.

Таким образом, мы подошли к еще одному приему работы, который часто недооценивается пользователями - умению эффективно пользоваться инструментом конфигураций *SW*. Инструмент конфигураций позволяет сохранить зафиксированные элементы конструкции, например, существующие элементы или обстановку и ввести в нее новые объекты, погасив/скрыв некоторые ненужные элементы для реализации вышеописанных замечаний/предложений. В результате, можно одним файлом в нескольких конфигурациях сохранить и исходный вариант, и измененный по предложению/требованию, затратив на реконструкцию минимум усилий и времени.

Ранее мы рассматривали ситуацию внесения необходимых изменений в конструкцию и дали рекомендацию не вносить изменения в модель без предварительного анализа для минимизации ошибок в геометрии/взаимосвязей модели. Однако полностью избежать ошибок системы не удастся даже опытным пользователям. Причина в высокой сложности и слабой формализации процессов проектирования.



Возникающие ошибки бывают 2-х видов:

1. *SW* не может осуществить перестройку без ошибок и сообщает об этом конструктору, выделяя красным и желтым цветом элементы в дереве с выводом на экран окна предупреждения.

2. *SW* перестраивает элементы без сообщений об ошибках в дереве построения, нарушая при этом естественную геометрию взаимодействия элементов, например, отверстия под болтовые соединения сместились при реконструкции;

Ошибки 1-го вида, как упоминалось ранее, вызывают у пользователей опасения. *SW* подтверждает правильность геометрии модели и взаимосвязи элементов, но не все сделанные конструктором изменения возможны без ошибок во взаимосвязях или геометрии. Как правило, конструктор меняет прямо в сборке один из размеров базовой детали - модель сборки перестраивает геометрию, как и задумывалось, но большинство элементов в дереве отражаются с ошибками по причине, как отмечалось выше, локальности изменений. Причем ошибочными, как правило, являются одна или две взаимосвязи, но *SW* высвечивает все множество зависимых элементов и связей, вызывая у пользователя опасения поиска ошибок, приводящих к такому результату. Рекомендация в данном случае самая общая - периодически осматривать модель после перестроений, связанных с изменением модели, и регулярно давать анализ промежуточным моделям с главными видами ее, выделяя при этом ошибки.

Ошибки 2-го вида более опасны, так как при создании сложных моделей конструктор может пропустить геометрические нарушения. Эти ошибки становятся заметны лишь при получении рабочей конструкторской документации. Рекомендация может быть следующей. Перестраивая деталь в сборке и соответственно всю сборку в целом, нужно предварительно посмотреть в дереве построений, с какими деталями она взаимосвязана, какие наложены ограничения, взаимосвязи и предварительно оценить, как эти взаимосвязи могут быть нарушены при перестроении. И, конечно, лучше заранее создать новую конфигурацию сборки и в ней осуществлять перестроения, погасив те взаимосвязи, которые *SW* уже не может выполнить без ошибки и вводя новые. Если такого предварительного анализа недостаточ-

но, то для устранения ошибок можно использовать следующее правило: погасить максимальное количество элементов внизу дерева по правилу: чем ниже элемент в дереве, тем более он подвержен накопленной сверху ошибке. Если не удастся найти «проблемный» элемент внизу дерева, то последовательное редактирование взаимосвязей «сверху» - от первого «проблемного» элемента, который подлежал изменению.

Таким образом, работа конструктора в среде *Solid Works* для проектирования деталей и сборок различной сложности наталкивается на некоторые психологические трудности, связанные с особенностями работы системы. Пользователь при работе с *SW* осуществляет работу по разрешению конфликтов, возникающих при проектировании в среде системы. В работе описаны некоторые приемы проектирования для поиска и устранения ошибок при работе в среде *SolidWorks*, позволяющие обойти психологические барьеры при проектировании деталей и сборок любой сложности. Работа направлена на получение навыков работы с пакетом 3D- моделирования машиностроительных задач, приведение особенности методики освоения и техники трехмерного моделирования при помощи мощного и современного *Windows* приложения *Solid Works*. Конечно, высококвалифицированные проектировщики, пользователи *SW*, могут владеть и другими, более привычными и удобными для них приемами поиска и исправления ошибок, не нашедшие отражения в этой работе. Наблюдения за развитием разработок системы *SW* показывают направленность их на дружелюбность к пользователям, желающих обучиться работе с этой системой.

### Литература

1. Пивняк Г. Г., Франчук В. П., Заболотный К. С., Панченко Е. В. Концепция подготовки инженеров в виртуальных технологиях: Электронное методическое пособие. Нац. горн. ун-т МОН Украины, Днепрпетровск, 2008 // [http://www.solidworks.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=59:201](http://www.solidworks.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=59:201)
2. Прохоренко В. П. *Solid Works*: Практическое руководство. - М.: Бинном-пресс, 2004. - 448 с.

3. *Щекин И. В.* Работа с большими сборками в Solid Works // RM-Magazine. - 2006. - № 11.

4. *Дударева Н. Ю., Загайко С. А.* Solid Works на примерах. - СПб.: БХВ-Петербург, 2007. - 544 с.

5. *Алямовский А. А.* и др. Компьютерное моделирование в инженерной практике. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 800 с.