УДК 658.516
Металлообработка №4 (22), 2004
Н.А.Пиликов, Р.М.Юсупов

Пять уровней стандартизации в инженерной подготовке современного производства

1. [illegible]

В понятие современного проектирования прежде всего входит прямое использование проектантом специализированных CAD-систем, благодаря которым появляется техническая возможность построения реалистичных 3-х мерных моделей проектируемых изделий и оснастки. CAD-система предоставляет конструктору виртуальное не имеющее ограничений пространство, в котором можно создавать самые разнообразные объемные модели изделий. Пользуясь этим пространством, конструктор пытается создать средствами CAD-системы электронный прототип изделия как можно точнее и полнее, насыщая его деталями и компонентами в прямом соответствии с тем, как это должно быть в реальности. Созданный виртуальный прототип далее является первичным источником информации для документирования проекта, для выполнения инженерных расчетов, для технологической подготовки производства и всех прочих процессов поддержки жизненного цикла изделия. В этом плане точность и полнота проектирования является важнейшим критерием, характеризующим проект. Поскольку современное производство в реальности немыслимо без самого активного использования стандартных компонентов и комплектующих, совершенно аналогично виртуальные проекты изделий, содержащих многие тысячи компонентов, нуждаются в удобном и доступном источнике таких же виртуальных компонентов. Таким образом, благодаря применению CAD-систем в инженерной подготовке производства, стандартизация, традиционно представленная тестами и таблицами в документах Госстандарта, материализуется через применение в проектах стандартизованных компонентов прямо в форматах CAD-систем.
В статье показано, что если внимательно посмотреть на все возможные типы компонентов для проектирования, то они, по сути, представляют собой некоторую 5-ти уровневую иерархию, начинаясь от простых чисел и завершая иногда очень мощными унифицированными конструкциями. Особенности и закономерности создания источника виртуальных компонентов для всех 5-ти уровней представлены на уникальном примере развития специализированной системы Технорма, разработчик ООО «Глосис».

2. [illegible]

Насколько современные CAD-системы подготовлены для задач работы конструктора с компонентами? Разработчики CAD-систем сделали необходимый минимум - традиционно практически в каждой CAD-системе есть возможность создания и ведения библиотек стандартных элементов, но, как правило, на уровне деталей. Конструктору предлагается заранее заготовить модели деталей и записать их в библиотеку для последующего повторного использования. Таблицы типоразмеров при этом записываются в какой-нибудь специфичный для этой CAD-системы редактор или в MS Excel. Возможно, такое решение было бы достаточно, если бы конструктор работал один, но для коллективной работы на предприятии, где кроме проектирования необходимо поддерживать все виды подготовки производства, решение, основанное на библиотеке деталей внутри какой-то CAD-системы, явно недостаточно по следующим причинам:

- Используемые конструкторами компоненты должны быть едиными для всех, то есть источник компонентов должен быть построен в виде централизованной базы данных

компонентов (нормалей), никто не должен иметь право включать в проект компоненты неизвестного происхождения

- Базы данных компонентов должны администрироваться централизованным способом, через соответствующие отделы стандартизации, CAD-системы, как правило, не содержат инструментов для такой поддержки
- На предприятии может использоваться несколько разных CAD-систем, причем даже поставленных от одной фирмы-поставщика, например, Unigraphics и SolidEdge, что объективно требует создания разных по формату, но одинаковых по содержанию библиотек, это создает технологические трудности
- Базы данных конструкторских компонентов должны быть доступны не только для конструкторов, но и для всех заинтересованных специалистов предприятия (технологов, инженеров по подготовке производства, снабженцев и т.д.), которые могут не иметь CAD-системы
- Как правило, CAD-системы не обеспечивают компоненты библиотек электронной документацией, хотя конструкторы для активного пользования компонентами нуждаются в таком сервисе

Все эти проблемы уже обсуждались в предыдущей статье [1], где было описано корпоративное решение для задачи обеспечения проектирующих специалистов централизованными базами нормалей на основе системы Технорма. Было доказано, что развитие стандартизации, как средства сокращения производственных издержек должно привести к внедрению на предприятии 2-х серверной архитектуры – базы стандартизованных компонентов и базы нормативных документов. В том, что единый централизованный источник компонентов экономически выгоден, уже никто не сомневается, но как построить такой источник, является вопросом, решение которого зависит также и от национальных особенностей страны.

В технологически развитых странах, где все предприятия подключены к системе электронных финансовых расчетов, и конструкторы окружены сетью Интернет, оказывается выгодным использование специализированных коммерческих вэб-сайтов, которые накапливают данные по интересующим компонентам и предоставляют клиентам доступ на абонементной основе. Такие сайты организованы фирмами Trace Parts, Франция (www.traceparts.com), Cadenas, Германия www.cadenas.de, SolidWorks, США (www.3dpartstream.net) и т.д. Сайты имеют многоязычный интерфейс и благодаря массовому в мировом масштабе использованию таких специализированных ресурсов, объемы баз данных невероятно возрастают, вплоть до нескольких миллионов единиц компонентов, что позволяет конструкторам в своей работе ориентироваться прямо на эти источники, так как в них моментально можно найти все необходимое. Поскольку в западном мире разделение труда исключительно развито, то компоненты включаются в конструкторский проект как покупные изделия, то есть их не надо производить, конструктору в этом случае не нужны чертежи этих компонентов, для работы со сборкой нужны только объемные модели с базовыми пользовательскими размерами. В силу этого совсем не обязательно получать эти компоненты в параметрическом формате CAD-систем, можно вполне ограничиться жесткими нейтральными форматами (IGES, Parasolid, STEP). По этой причине компоненты, по сути являющиеся сборочными единицами (редукторы, пневмо- и гидроцилиндры, золотники и распределители, блоки пресс-форм, штампов и т.д.), представлены в упрощенном виде.

В нашей стране пока таких источников нет по ряду фундаментальных причин:

- Доступ в сеть Интернет пока ограничен по техническим возможностям и режимным правилам, в силу этого должна быть возможность поставки баз данных компонентов на внешних носителях с возможностью запуска и постоянной работы прямо на территории предприятия
- Наши предприятия пока еще ориентируются на самостоятельное изготовление компонентов, что является следствием низкого уровня развития малого бизнеса, так как

обилие предложений по готовым покупным компонентам может обеспечить только малый и средний бизнес

- Наш конструктор, проектируя изделия в определенной CAD-системе, предпочитает включать в проект компоненты, которые по формату данных соответствуют именно его CAD-системе, причем модели компонентов должны содержать всю параметрическую информацию на случай необходимости что-то изменить в конструкции детали. При этом естественно, нужен чертеж детали то же в формате его CAD-системы, чтобы изменения, внесенные в модель компонента, автоматически отражались в чертеже

Такие требования усложняют решение, в результате система Технорма вынужденно построена на поддержке нескольких CAD-форматов, обеспечении чертежей и насыщении компонента полной информацией, достаточной для его изготовления собственными силами. Безусловно, постепенно положение в отечественной промышленности будет приближаться к состоянию развитых стран, но пока сохраняется необходимость в системе Технорма обеспечивать переносимость баз данных на территорию и всю полноту информации для изготовления компонентов, если для этого нет препятствий по линии авторских прав.

3. [illegible]

Практика показала, что стандартизация или компонентное проектирование, как техническое направление имеет свои законы. Естественно, все начинается с детали, которая является центральным объектом в базе данных нормалей и которая формирует основную запись в базе данных. Детали, как самостоятельные объекты, имеют в базе данных основу в форме объемной модели и типоразмерные таблицы. Для поддержки деталей в базе созданы все необходимые средства и условия, вплоть до автоматического тестирования генерации деталей по заданной таблице, как на рис.1.

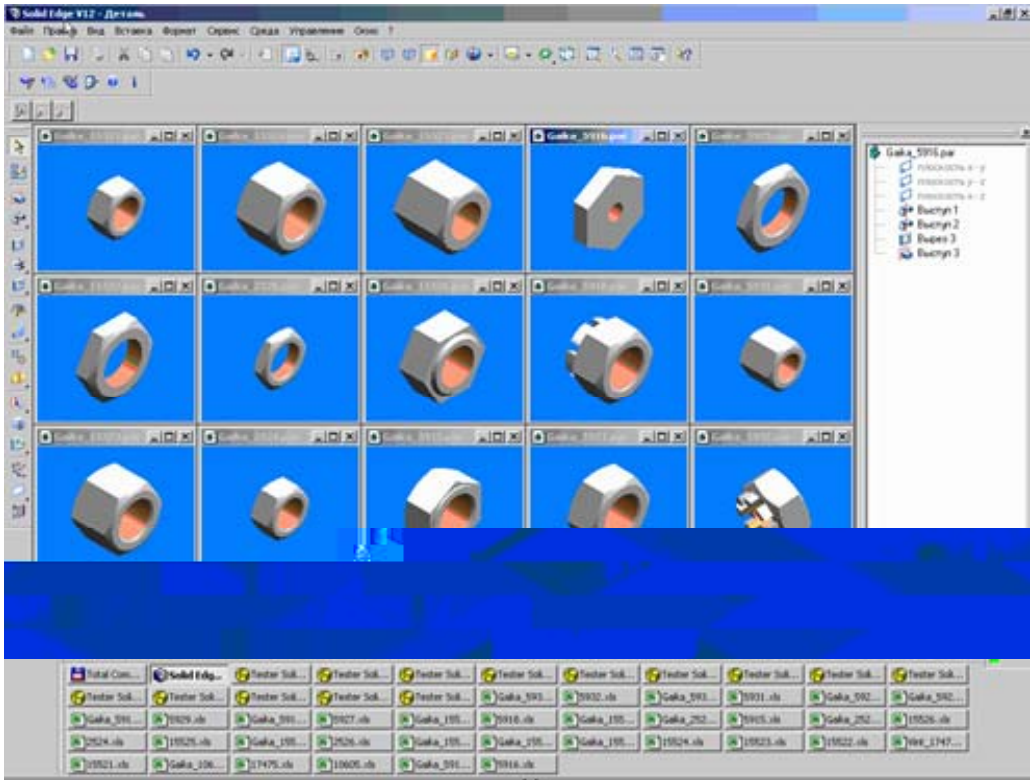


Рисунок 1 Система Технорма/Админ-КАД производит автоматическое тестирование типоразмеров и исполнений детали «Гайка ГОСТ 5932» в формате CAD-системы SolidEdge.

Но для практической работы одного уровня деталей оказалось недостаточно, чтобы удовлетворить потребности конструкторов, в особенности российских.

g□ h Ø ln jh

В процессе развития системы постепенно потребовалось, чтобы в базу данных были помещены стандартизованные конструктивные элементы (нормали более простого типа) – отверстия, пазы, резьбы, профили зубов и т.д. Если этого не сделать, то пришлось бы указывать параметры резьбы, например, на каждой детали, содержащей резьбу. В базе данных системы Технорма был специально создан механизм «наследования» параметров, когда описание детали не содержит в себе параметров конструктивных элементов, а ссылается на них, на другие нормали более высокого уровня, которые можно назвать родительскими нормалями, как показано на рис.2. Понятие «родительской нормали» по отношению к нормалям более высокого уровня уместно в силу того, что целый ряд параметров родительской нормали передается по ссылке для использования в описании нормалей более высокого уровня. Нормали, использующие (наследующие) параметры родительских нормалей, в свою очередь уместно назвать «нормалями-потомками».

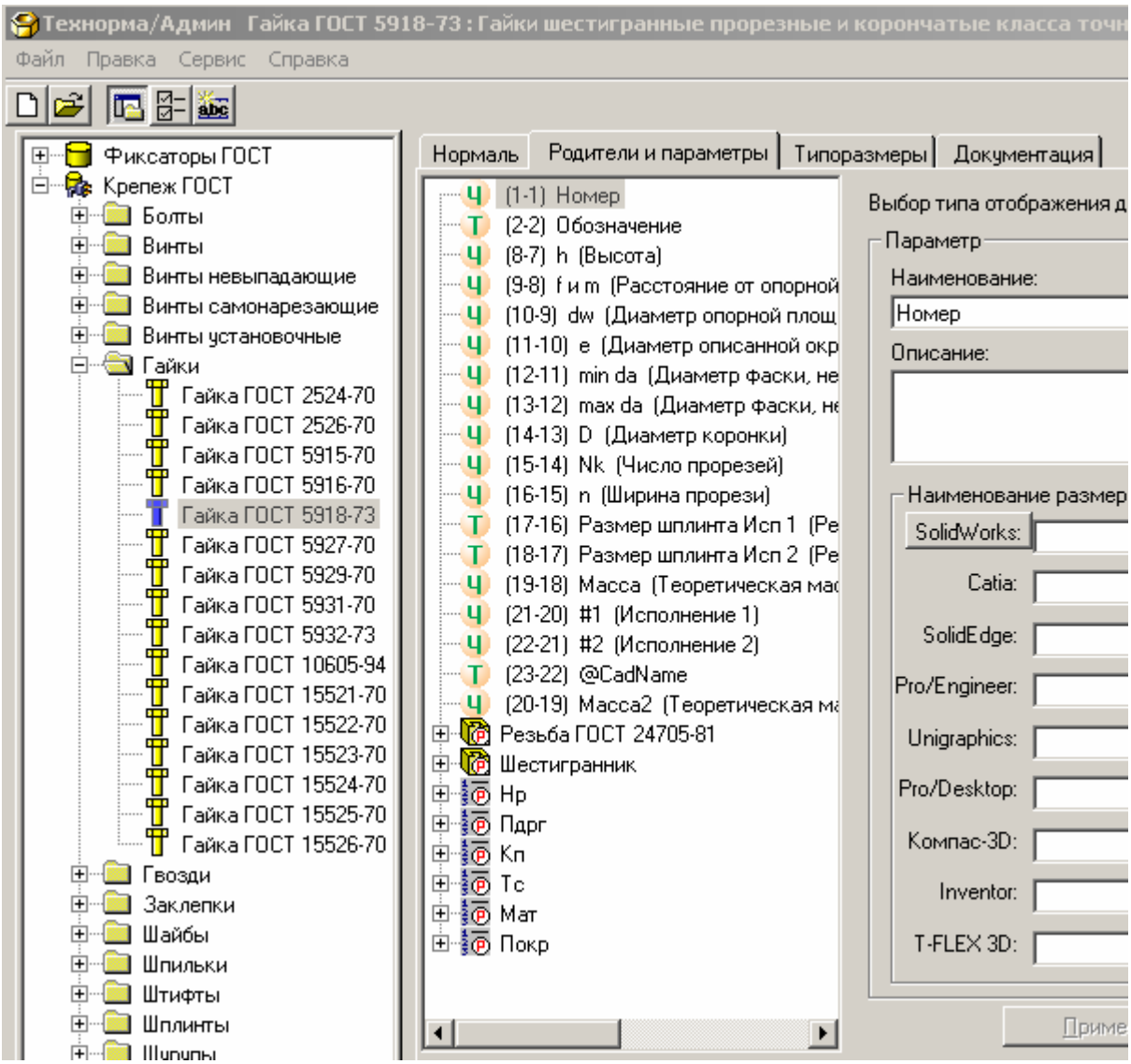


Рисунок 2 В структуре параметров нормали «Гайка» есть ссылки на резьбу и шестигранник

Ссылки на другие нормали, такие как «Резьба метрическая» (ГОСТ 24705-81), «Шестигранник» (ГОСТ 8560-78), «Радиусы под головкой» (ГОСТ 24670-81) и т.д. делают нормаль реально привязанной к существующим ГОСТам. Естественно, родительские нормали, в свою очередь, могут реально ссылаться на своих родителей и т.д. В результате, в базе данных системы Технорма появились иерархичные структуры, как например на рис.3.

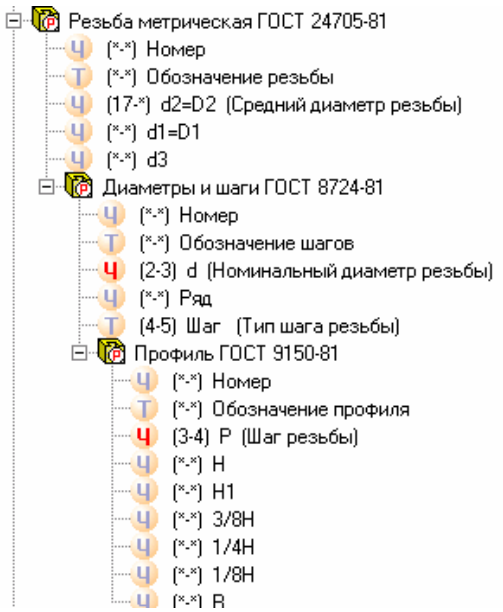


Рисунок 3 Нормаль «Резьба метрическая» ссылается на своих родителей «Диаметры и шаги» и «Профиль»

Хотя программная поддержка такой иерархической структуры нормалей является непростой задачей, выигрыш очевиден – как правило, более половины параметров типоразмерных таблиц нормалей составляют параметры, «наследованные от родителей» - то есть заведомо правильные и сохраняющие корректность и целостность базы. Например, если в нормали «Диаметры и шаги» (ГОСТ 8724-81) появится новое значение шага резьбы, то все «потомки», то есть нормали, ссылающиеся на этого родителя, получат новый шаг автоматически. Если бы этого не было, пришлось бы вручную проставить новый шаг резьбы во всех нормалях, содержащих метрическую резьбу, а это 95% нормалей базы «Крепеж ГОСТ».

Поддержка разнообразных конструктивных элементов сформировала в базе данных еще один уровень – уровень нормалей, не отделяемых от деталей, но хранящихся отдельно от конструктивных элементов. Как правило, конструктивные элементы представлены в базе данных плоскими графическими фрагментами, что показано на рис.4, и таблицами.

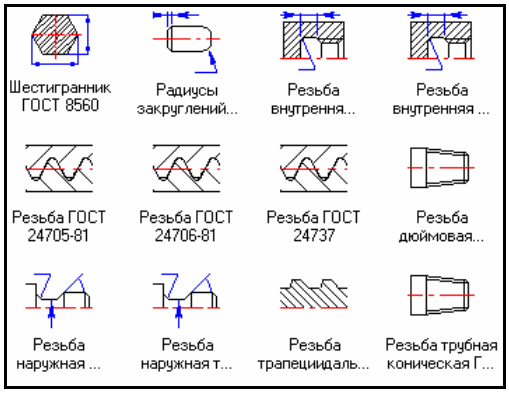


Рисунок 4 Наличие базы конструктивных элементов наряду с базами деталей - отличительная черта системы Технорма..

Далее выяснилось, что даже самые простые плоские нормали - конструктивные элементы, тоже имеют общие стандартизованные элементы – это различные простые ряды числовых значений, которые уже не могут иметь графического представления (значения диаметров отверстий, размеров «под ключ», значения допустимых уклонов пресс-форм и т.д.). Движение по структуре от потомков к родителям неизбежно связано с упрощением конструктивных элементов. Таким образом, в базе данных сформировался еще один уровень иерархии, то есть уровень самых простых числовых рядов, которые фактически замыкают «родительский» уровень снизу, так как это уже атомарный уровень. Это направление развития средств стандартизации можно назвать движением вглубь структуры детали.

g□ **h** **Ø** **ÿ**

Уже по коммерческим сайтам западных компаний ясно, что поставка компонентов не может ограничиться только деталями, огромное число реально используемых компонентов являются сборочными конструкциями. Причем если западным конструкторам достаточно упрощенных представлений сборок (так как они эти изделия не изготавливают, а покупают), то отечественным конструкторам в большинстве своем нужно предлагать реальные сборки, состоящие из реальных деталей, исключая может быть некоторые компоненты, которые изготовить своими силами невозможно – подшипники, электромоторы, насосы, редукторы и т.д.. В силу этого систему Технорма пришлось приспосабливать к работе со сборками, то есть к автоматической генерации сборки из выбранных деталей по выбранному типоразмеру. Постепенно сформировался уровень простых сборок, которые состоят из соответственно нормализованных и уже размещенных в базе компонентов – деталей и подсборок, примерно представленный на рис.5.

Рисунок 5 Примеры простых табличных нормализованных сборочных конструкций

Механизм поддержки генерации сборок, причем включая подсборки, достаточно сложен, но благодаря наличию такого уровня нормалей производительность труда конструктора вырастает радикально, ведь генерация нормали производится за один шаг: выбор базовых размеров по таблице типоразмеров – получение результата, сборок можно сгенерировать столько, сколько строк в типоразмерной таблице. Но поскольку число типоразмеров сборки составляется из разных комбинаций типоразмеров деталей, постепенно процесс развития подошел к более сложной ситуации – в некоторых изделиях число допустимых типоразмеров настолько велико, что заранее построить типоразмерную таблицу невозможно.

Так возникла следующая задача, которая потребовала от системы Технорма создания специального механизма направленной генерации нужного типоразмера динамически, на основе вводимых конструктором данных по требуемым габаритам и параметрам. То есть, в этом случае типоразмерной таблицы для нормали нет вообще, но вместо этого создается, так называемый «формульный блок» - комплект формульных ограничений, который должен накладываться на выбираемые конструктором параметры, чтобы отфильтровать типоразмеры деталей, явно не соответствующие логике сборки. Примером такой нормали является блок пресс-формы на рис. 6.

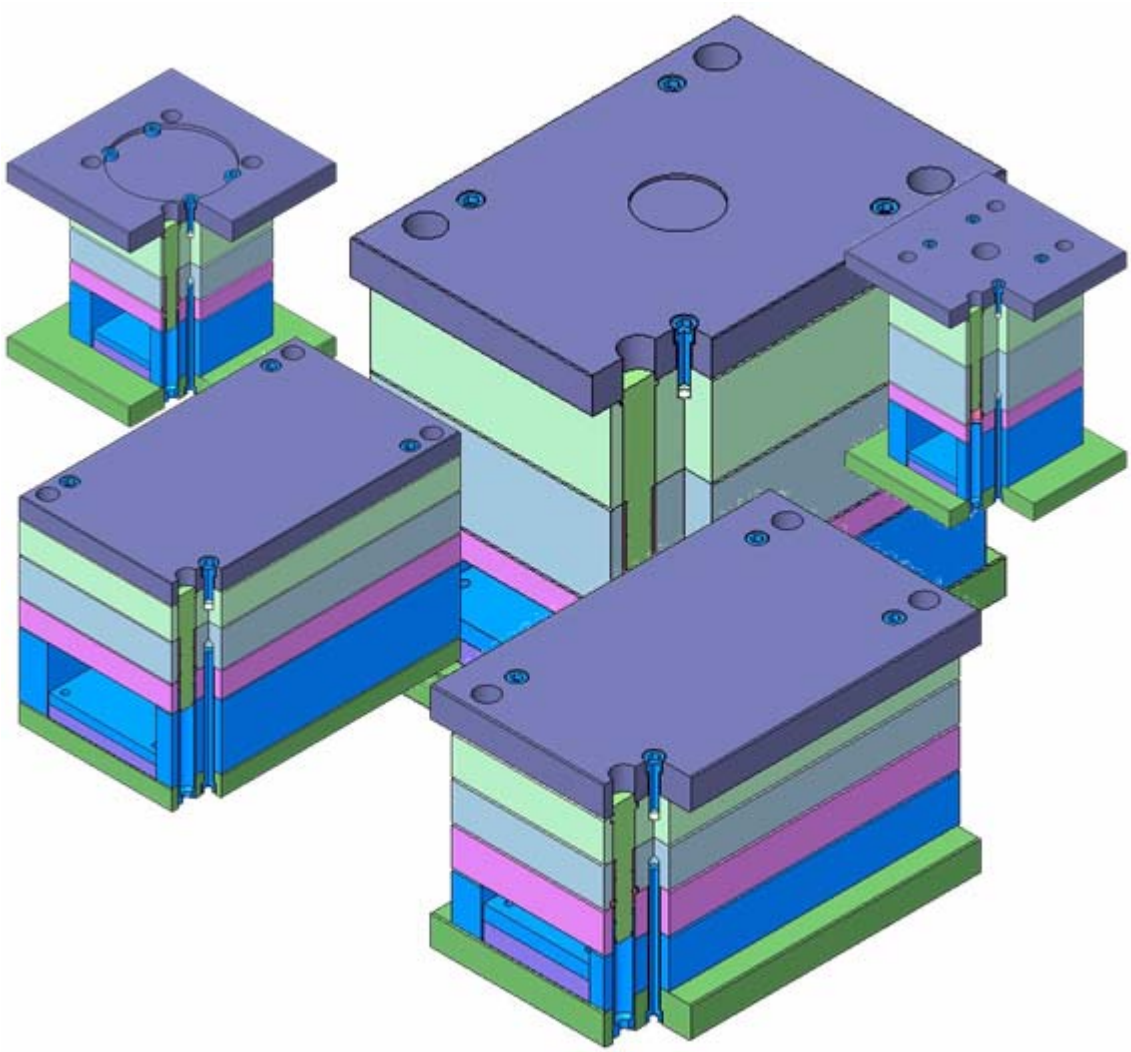
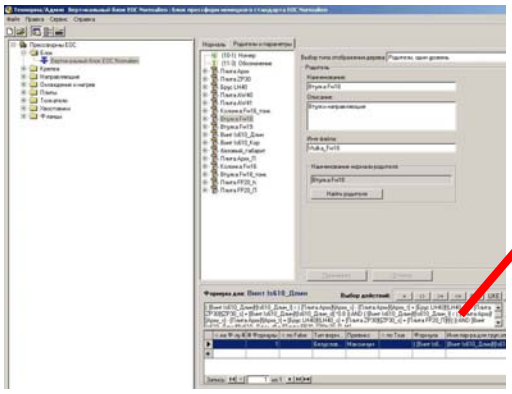


Рисунок 6 Количество типоразмеров в блоке пресс-формы невозможно сформировать заранее, их число превосходит миллионы.

Таким образом, на уровне сборочных нормалей, генерация которых происходит за один шаг (операцию), получаем 2 разновидности:

- Нормали с ограниченным числом типоразмеров, оснащенные таблицей типоразмеров – табличные нормали
- Нормали с неограниченным числом типоразмеров, но оснащенные формульным блоком и генерацией типоразмеров в процессе задания конструктором исходных данных – формульные нормали

Формульный блок является изобретением фирмы «Глосис» и решает задачу внесения ограничений в цепочку связанных между собой параметров разных деталей, когда, например, диаметр колонки определяет диаметр втулки, а диаметр втулки – размеры плиты, соответственно, размеры плиты крепления определяют размеры плиты пуансона и т.д. Конструкция может содержать несколько формульных блоков, в зависимости от того, сколько групп связанных параметров присутствует. Для построения формульных блоков в системе Техноррма/АдминКАД есть специальные средства.



```
( [Винт Is610_Длин]![Is610_Длин_l] > ( [Плита Apxx]![Apxx_s] - [Плита
Apxx]![Apxx_t] + [Брус LH40]![LH40_s] + [Плита ZP30]![ZP30_s] + [Винт
Is610_Длин]![Is610_Длин_d] *0.8 )) AND ( [Винт
Is610_Длин]![Is610_Длин_l] < ( [Плита Apxx]![Apxx_s] - [Плита
Apxx]![Apxx_t] + [Брус LH40]![LH40_s] + [Плита ZP30]![ZP30_s] + [Плита
FP20_П]![t] )) AND [Винт Is610_Длин]![Is610_Длин_d] = [Плита
FP20_П]![fp20_П_M]
```

Рисунок 7 Так выглядит формульный блок в окне системы Технома/АдминКАД, конструктор формирует блок на основе имеющих место связей в структуре сборки

Табличные и формульные нормали практически полностью удовлетворяют потребностям большинства имеющихся стандартизованных компонентов, для которых достаточна разовая или одношаговая генерация в CAD-системе. Возможно, этих средств было бы достаточно, если бы не пришлось столкнуться с задачей стандартов предприятий (СТП).

fg□ h [illegible]

СТП сформировали новый уровень требований к системе Технорма. Как правило, в СТП фигурируют разнообразные хорошо унифицированные конструкции, для которых может быть создана параметрическая модель в CAD-системе, причем это могут быть, как сложные детали, сборочные единицы, так и целиком изделия. Объединяет их одно – для их полной генерации в CAD-системе нужен не один шаг, а целый процесс, в ходе которого конструктор производит генерацию частями, делая выбор параметров порциями, оценивая результат, иногда возвращаясь к предыдущему шагу или к самому началу процесса. В системе Технорма появилась необходимость поддержки многошагового процесса создания нормали, причем на каждом шаге может использоваться любой из перечисленных выше типов нормалей.

Рисунок 8 Примеры нормалей с многошаговым процессом проектирования

2. Нормали уровня конструктивных элементов, имеющие в системе Технорма кроме табличного графическое представление, в основном 2D, но не формирующие отдельные файлы моделей
3. Детали, имеющие объемные параметрические прототипы, представленные в системе Технорма объемными моделями, формирующие в CAD-системе отдельные файлы
4. Сборки одношагового проектирования, также имеющие объемные параметрические прототипы, представленные объемными моделями, формирующие в CAD-системе отдельные файлы, которые построены на ссылках на составляющие эти сборки детали. Характерной чертой этого типа является возможность их генерации за один шаг как в табличном варианте, так и в формульном. Соответственно, в системе Технорма эти сборки представлены как табличные или формульные нормали.
5. Нормали многошагового проектирования, это могут быть как детали, так и сборки, но уже кроме файлов объемных моделей имеющие файл процесса проектирования в формате MS Excel. Многошаговые нормали могут быть представлены только в системе Технорма/Проект

Естественно, более сложные нормали могут ссылаться на нормали своего уровня или более простые, образуя достаточно разветвленную древовидную структуру ссылок. Если касаться именно средств стандартизации, то пока все задачи, возникшие в ходе процесса развития системы Технорма, укладываются в описанную схему.

5. [redacted]

Каждое предприятие самостоятельно решает вопрос, в какой степени и как применять компоненты, как в проектировании, так и в производстве, однако совершенно очевидно, что применение компонентов формирует исключительно важный резерв в повышении качества продукции, производительности и рентабельности производства. Но как только у предприятия возникнет вопрос применения компонентной технологии непосредственно на стадии проектирования изделия, решение вопроса неизбежно придет схеме указанных 5-ти уровней стандартизации. Реализация системы, которая обеспечивает конструктора всем необходимым для использования компонентов в проектном процессе, может быть разной, но система должна принципиально поддерживать все необходимые возможности работы на всех 5-ти уровнях. Необходимость этого доказана на практике в ходе 6-летней эволюции системы Технорма. Решение по вопросу о том, как создать и технологически поддержать на предприятии систему широкомасштабной стандартизации, когда конструкторы работают в современных системах, приведено в [2].

В статье освещен в основном конструкторский этап инженерной подготовки производства, но стандартизация не менее важна и для этапа разработки технологических решений, для которых существуют свои законы и особенности. Закономерности в стандартизации технологий, то есть типовых, унифицированных технологических процессов является этапом дальнейшего исследования авторов.

6. [redacted]

1. Н.А.Пиликов. О технологии создания информационных центров стандартизации на машиностроительных предприятиях // Металлообработка №5, 2002
2. Н.А.Пиликов. Компоненты в проектировании // RM Magazine №3, 2003