

УДК 658.512.011.56

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

© 2012 А.В. Рыбаков, А.А. Краснов

Московский государственный технический университет «Станкин»

Поступила в редакцию 10.10.2012

Предлагается новый подход к проектированию технологической оснастки через информационное моделирование на основе управляемой системы взаимосвязанных компьютерных моделей. Применение данного подхода обеспечит требуемое качество, сокращение длительности и снижение трудоемкости проектирования сложной технологической оснастки на машиностроительных предприятиях.

Ключевые слова: технологическая оснастка, компьютерное моделирование, базы знаний.

### ВВЕДЕНИЕ

Успешное решение задач, связанных с обеспечением требуемого качества, сокращением длительности и снижением трудоемкости проектирования сложной технологической оснастки машиностроительными предприятиями может быть достигнуто только при переходе к комплексному использованию достижений информационных технологий, ростом возможностей компьютерного моделирования в смежных областях производственной деятельности: трехмерной графике, инженерном анализе, изготовлении сложных пространственных поверхностей на оборудовании с ЧПУ и организации совместной работы коллектива специалистов.

Подход к проектированию технологической оснастки на основе семейства компьютерных моделей предполагает, прежде всего, сбор и комплексную обработку в процессе проектирования и изготовления технологической оснастки всей конструкторской, технологической, экономической и иной информации в компьютерной базе знаний. Например, для пресс-формы это все ее взаимосвязи и зависимости – пластмассовое изделие, технология процесса литья, конструкция пресс-формы, термопластавтомат и т.д. При этом все, что имеет отношение к проектированию и изготовлению ТО, включается в состав единого информационного объекта.

### ТРАДИЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ

В общем случае процесс проектирования и изготовления технологической оснастки носит итерационный характер [1]. Для этого процесса

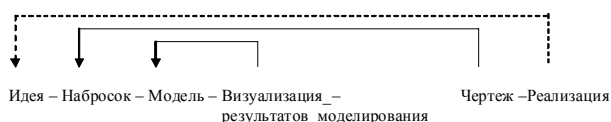
характерно наличие большого количества обратных информационных связей. В ходе выполнения этого процесса могут корректироваться как техническое задание, так и собственно конструкция технологической оснастки. Эти изменения могут возникать как по результатам натурных испытаний, так и по результатам эксплуатации всей технической системы в целом. Любое изменение, произошедшее в цепочке проектирования, при отсутствии отслеживаемых связей между объектами разработки и специалистами, отвечающими за их функционирование, приводит к изменению данных и необходимости вновь и вновь согласовывать отдельные решения между собой. Как следствие не согласованности данных – ухудшение показателей функционирования технологической оснастки и последующие затраты времени на внесение изменений.

По нашему мнению, современный подход к проектированию и изготовлению технологической оснастки с помощью автоматизированных систем идет по пути использования цифровых прототипов (Digital Prototyping), построенных на постоянно растущем семействе компьютерных моделей [2, 3].

Представление деятельности по решению задач машиностроения в компьютерной среде с использованием моделирования

С появлением ЭВМ широкое распространение во многих инженерных дисциплинах получило компьютерное моделирование (возможность изучения свойств реального объекта путем экспериментирования с другим – материальным или идеальным объектом). Использование компьютерного моделирования внесло в традиционное проектирование два новых объекта: модель и визуализацию результатов моделирования. И практически повсеместно стало выполняться согласно следующей цепочки:

*Рыбаков Анатолий Викторович, кандидат технических наук, доцент. E-mail avr48@rambler.ru*  
*Краснов Андрей Анатольевич, кандидат технических наук.*



Компьютерное моделирование, используя принципы иерархической структуры, декомпозиции и абстракции позволяет на разных этапах моделирования средствами компьютерной имитации контролировать свойства будущей ТО на основе виртуального объекта (рис. 1). Такая подмена позволяет на компьютерной модели провести спланированный эксперимент, который обеспечивает на ранних стадиях проектирования согласование важнейших функциональных показателей ТО. В результате компьютерного эксперимента разработчику удастся подобрать для натурного решения наиболее оптимальный вариант конструкции технологической оснастки. Т.е. компьютерное моделирование позволяет специалистам выйти на оптимальный вариант конструкции за меньшее сроки и с меньшими затратами ресурсов.

Собственно деятельность по автоматизированному проектированию и изготовлению технологической оснастки подразумевает учет противоречивых требований и условий заказчика. На сегодня сложилась такая ситуация, что при проектировании технологической оснастки используется множество отдельных компьютерных моделей, над созданием которых, как правило, трудятся специалисты из различных сфер деятельности. На компьютерных моделях проверяют узкие места в проектных работах и возможные последствия тех или иных технических решений в конечной конструкции. По результатам моделирования проводят соответствующие доработки в конструкции технологической оснастки.

Например, в состав предоставляемого специального программного обеспечения для компьютерного моделирования в ходе проектирования пресс – форм обычно включают:

- средства трехмерного моделирования собственно пластмассовой детали;

- средства моделирования конструкции пресс – формы;
- средства моделирования технологического процесса литья;
- средства моделирования процесса обработки деталей пресс – формы, в первую очередь формообразующих.

В случае пресс – формы само проектирование конструкции опирается на совмещенное моделирование пластмассовой детали и пресс – формы для ее изготовления, и носит итерационный характер. При этом сформированная модель пластмассовой детали отрабатывается на технологичность, проверяется достаточность толщины стенки детали для ее изготовления в пресс – форме, строятся уклоны, требуемые при литье для извлечения пластмассовой детали из пресс – формы, выбирается линия разъема, определяются формообразующие поверхности пуансона и матрицы и т.д. Для сформированной модели пластмассового изделия выполняют моделирование процесса литья с учетом выбранного материала, определяют время и достоверность заполнения, скорость потока пластмассы, прогнозируют качество и т.д. При разработке конструкции пресс – формы, как правило, используются библиотеки параметрических моделей производителей стандартных деталей, которые могут быть дополнены или модифицированы пользователем в соответствии со стандартами, нормами или иными техническими требованиями, которые применяются на конкретном предприятии. При моделировании процесса обработки наиболее трудоемким является получение формообразующих поверхностей пресс – формы для обработки на оборудовании с ЧПУ.

На практике из-за использования множества разрозненных компьютерных моделей сложилась следующая схема организации деятельности при компьютерном моделировании (рис. 2).

Для данной схемы организации деятельности характерны следующие ограничения:

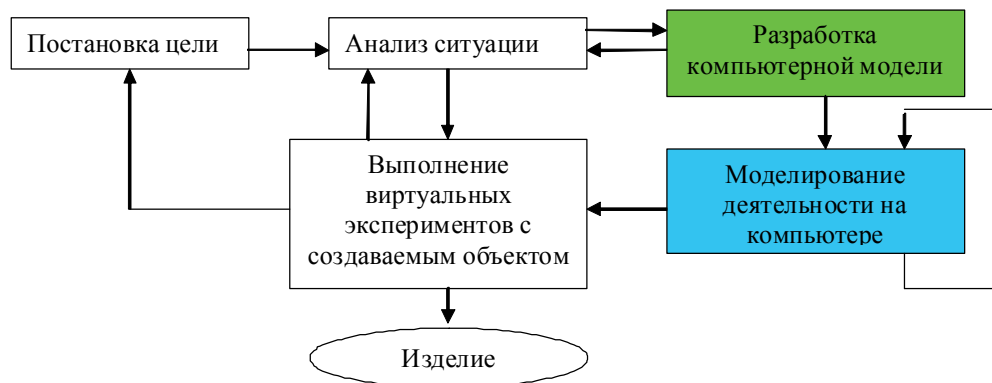


Рис. 1. Место моделирования деятельности при подготовке производства изделий машиностроения в компьютерной среде

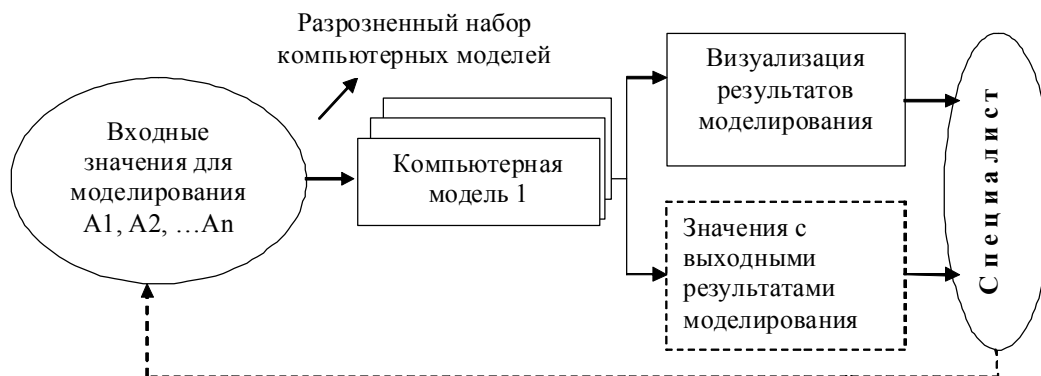


Рис. 2. Существующая схема использования компьютерного моделирования

- отсутствует интегрированная информационная модель предметной области, а следовательно и устойчивые взаимосвязи на понятийном уровне между набором различных компьютерных моделей; связь по данным между разными моделями осуществляется «через голову» специалиста (на рис. 2 эти связи изображены в виде пунктирных линий);

- отсутствует прогнозирование развития ситуации в ходе проектирования и изготовления в случае внесения изменений в процесс;

- отсутствует информационная поддержка деятельности специалиста, как при проектировании, так и при разработке управляющих программ для обработки деталей пресс - форм;

- отсутствует пошаговое накопление лучших решений для их дальнейшего повторного использования;

- программное обеспечение реализовано как жесткая законченная система «под ключ», практически за любым расширением возможностей

системы необходимо обращаться к разработчику программного обеспечения и платить дополнительные деньги.

Устранить приведенные ограничения возможно путем внедрения новой информационно - технологической среды на основе PLM/CAD/CAE/CAM систем, поддерживающей весь жизненный цикл совмещенного проектирования основного изделия и технологической оснастки для её изготовления в условиях системы взаимосвязанных компьютерных моделей.

Для обеспечения интеграции все используемые компьютерные модели и порождаемые ими данные должны быть согласованы между собой в единой компьютерной базе знаний. На рис. 3 показаны взаимосвязи моделей при проектировании пресс - формы.

При использовании системы взаимосвязанных компьютерных моделей появляется возможность поиска и разрешения большего числа коллизий с помощью соответствующих программных продук-



Рис. 3. Роль и место системы взаимосвязанных компьютерных моделей при проектировании и изготовлении ПФ в условиях информационно-технологической среды

тов. Все это приводит к значительному сокращению сроков проектирования и изготовления технологической оснастки.

Круг задач, решаемых средствами компьютерного моделирования при проектировании и изготовлении технологической оснастки, значительно расширен по сравнению с традиционным подходом.

Основой представления деятельности по решению задач проектирования и изготовления технологической оснастки и ее переводу к компьютерному варианту с использованием системы моделей выступают следующие концепции [4]:

1. Большая часть конструкции оснастки для технологической подготовки производства состоит из стандартных, типовых и уникальных объектов, имеющих свойства;

2. Существенные для использования свойства объектов именуются и хранятся на ЭВМ в форме элементов словаря понятий (A1...Az);

3. Свойства объекта могут получать свое значение только в результате следующих действий: расчет, выбор из таблицы или задание пользователем в диалоге.

4. Взаимосвязи между свойствами могут быть заданы в форме следующих отношений: формул, таблиц, параметрических графических объектов (чертежей и 3D – моделей). Компьютерная форма записи отношений в пределах конструкции технологической оснастки реализуется только с использованием элементов словаря понятий.

5. Собственно технологическая оснастка является результатом проектной деятельности множества специалистов различного профиля (заказчики, расчетчики, конструктора, технологи, производственники и т.д.);

6. Работу всех специалистов над технологической оснасткой в машиностроении можно пред-

ставить через ограниченное множество видов деятельности (ввод и редактирование значений данных, работа с таблицами, выполнение инженерных расчетов, графическое редактирование, графическая визуализация решений и т.д.);

7. Управление потоком работ (извещение о свершении события, организация деятельности специалиста по принятию решений (утверждение решения, отказ от решения и т.д.), сохранение и передача результатов) в ходе проектирования в компьютерной среде осуществляется с помощью систем автоматизированной поддержки информационных решений (САПИР). Список контролируемых этапов в ходе проектирования и изготовления технологической оснастки приведен на рис. 4.

### ПРИМЕР ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕСС-ФОРМ

Предлагаемый метод решения по проектированию и изготовлению пресс-форм для литья деталей из пластмасс под давлением, основан на применении объектно-ориентированного подхода при создании системы взаимосвязанных компьютерных моделей. Этот подход заключается в том, что в предметной области (в данном случае проектирование и изготовление пресс-форм) выделяется множество объектов, взаимосвязанных контекстом жизненного цикла проектирования и изготовления технологической оснастки (в нашем примере – это пресс-форма). Каждый из объектов обладает свойствами модульности, полиморфизма, инкапсуляции и абстрактности. Важно, что свойства таких выделенных объектов для конструирования технологической оснастки описываются в компьютерной базе знаний на языке, понятном специалисту предметной области.

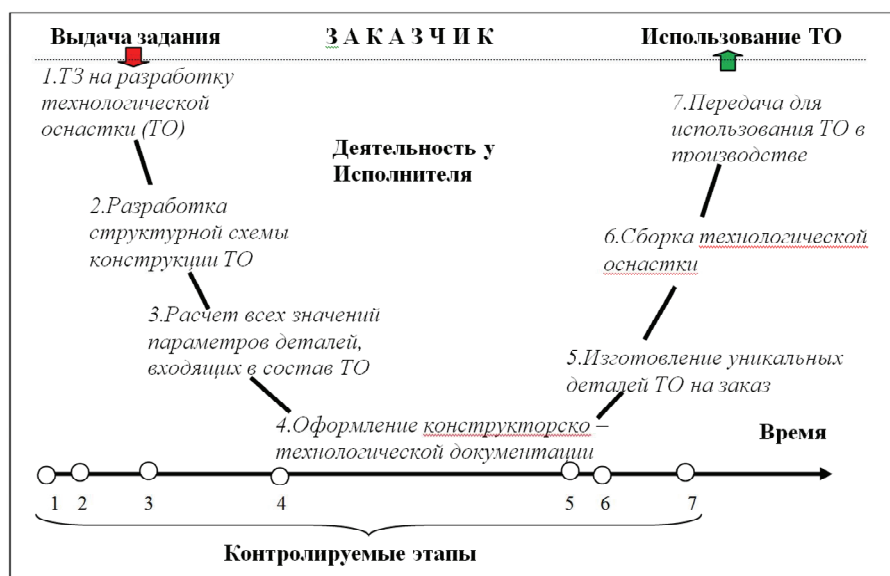


Рис. 4. Типовая U – схема проектирования и изготовления технологической оснастки

Несмотря на большое количество разнообразных пресс-форм, использующихся в производстве, в каждой из них можно выделить следующие самостоятельные (выполняющие законченную функцию) объекты: формообразующие части пресс – формы для формирования внешнего облика пластмассовой детали, пакеты плит, система крепления пресс-формы к термопластавтомату, система крепления плит в единую конструкцию пресс – формы, система центрирования плит, литниковая система для подвода расплава к формообразующей части пресс-формы, система выталкивания изготавливаемой пластмассовой детали из пресс-формы после ее затвердевания, система охлаждения расплава под давлением, дополнительные системы, например, привода стержней и др. механизмы (в сложных пресс формах).

Все перечисленные объекты в той или иной модификации присутствуют в любой пресс-форме для литья деталей из пластмасс под давлением, независимо от того, предназначена ли эта форма для литья простых или сложных деталей (резьбовых или армированных), от количества гнезд и плоскостей разъема, от типа термопластавтомата и т.д. Любой из этих объектов имеет свой сценарий проектирования, свой словарь понятий, свои графические и символные зависимости. Таким образом, проектирование пресс-формы может свестись к проектированию отдельных уникальных объектов, составляющих ее, которые затем объединяются в едином проекте с учетом контекста процессов проектирования и изготовления конструкции пресс-формы. Для создания компьютерной базы знаний следует перевести в компьютерную среду всю необходимую информацию о проектировании пресс-формы. Для этого требуется создать единую информационную модель предметной области, включающую словарь понятий отдельных свойств объектов, символные и графические отношения между этими свойствами, сценарий проектирования пресс-формы из типовых узлов. Пример записи типов взаимосвязей при принятии решений в ходе проектирования и изготовления пресс-форм, а также способы согласования отдельных объектов в конструкции пресс-формы приведены на рис.5.

#### **ИТЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ И ИЗГОТОВЛЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ НА БАЗЕ НАБОРА КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

Итеративные методы организации принятия решений у Исполнителя открывают возмож-

ность постепенного превращения требований Заказчика в готовую конструкцию технологической оснастки. Это достигается на основе итерационного трансформирования ранее полученных решений (в начальный момент – это требования Заказчика) через набор согласованных компьютерных моделей.

Согласованное семейство компьютерных моделей с высокой степенью вероятности обеспечивает всестороннее тестирование вариантов разработки и сокращает потребность в натурном эксперименте. При этом каждая компьютерная модель размещается отдельно, является завершенной (в меру достигнутого на текущий момент уровня формализации процесса), обеспечивает практическую реализацию технологической оснастки и через словарь понятий компьютерной базы знаний интегрируется с другими моделями.

Компьютерная база знаний реализована как открытая система, которая может пополняться и модернизироваться по мере необходимости у Исполнителя. Таким образом, собственно компьютерные базы знаний и компьютерные модели выступают как средство формализации и накопления знаний о процессах проектирования и производства технологической оснастки в условиях информационно-технологической среды (рис. 6).

Главное отличие нового подхода от прежних методов проектирования технологической оснастки заключается в том, что создаваемый на начальных этапах проектирования информационный объект в виде трехмерной модели носит виртуальный характер и предназначен для коллективного проведения экспериментов, призванных обнаружить и подобрать методы устранения собственно дефектов в конструкции будущей оснастки.

Информационная модель технологической оснастки, накапливаемая в рамках текущего проекта, – это хорошо скоординированная, согласованная, взаимосвязанная, поддающаяся расчетам и анализу, имеющая геометрическую привязку числовая информация о проектируемой конструкции технологической оснастки. Эта числовая информация используется для:

- принятия согласованных проектных решений коллективом специалистов;
- создания оперативной проектной документации;
- предсказания эксплуатационных характеристик технологической оснастки;
- составления смет и заказов на приобретение покупных комплектующих;
- изготовления отдельных компонентов на оборудовании с ЧПУ;

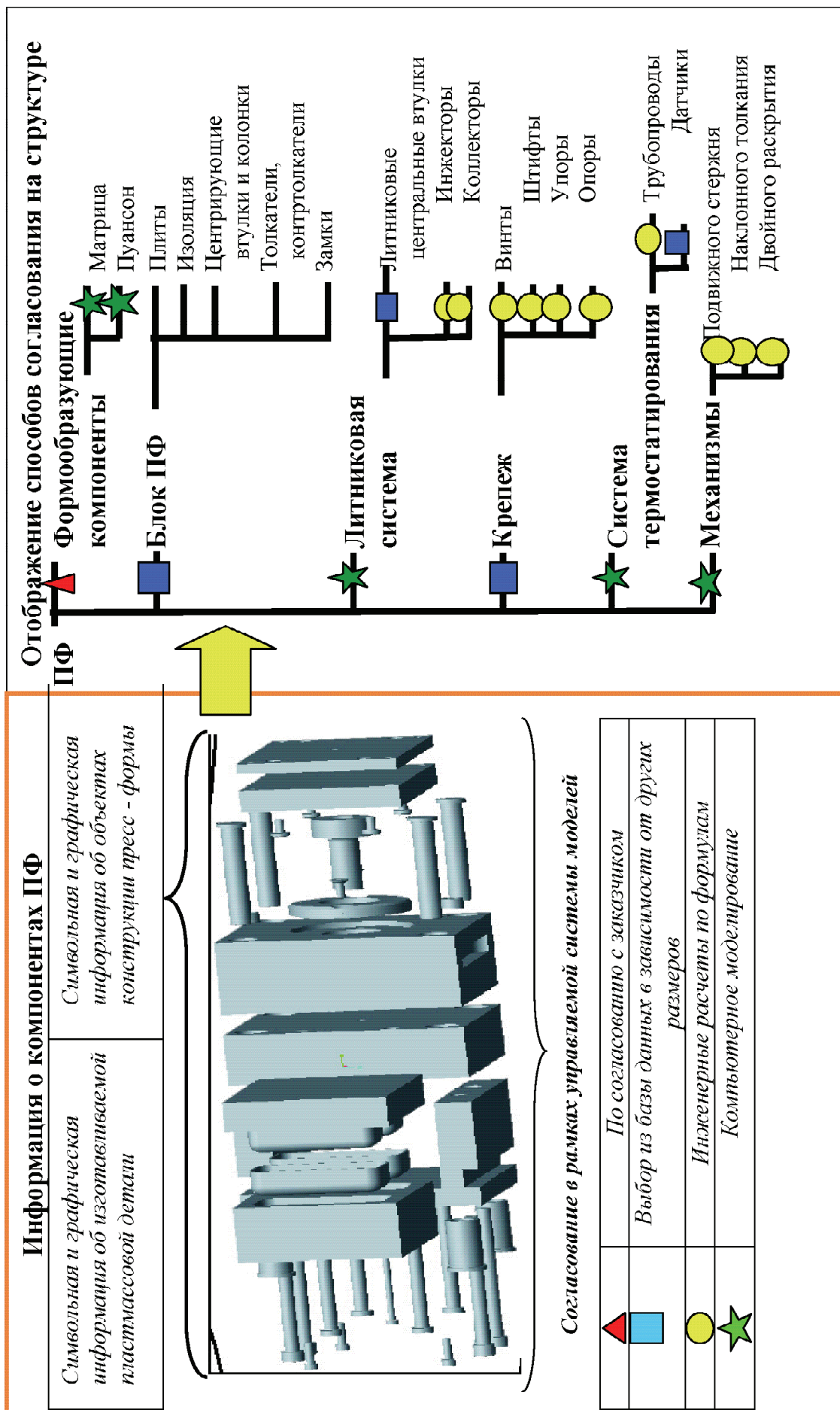


Рис. 5. Типы взаимосвязей при принятии решений в ходе создания пресс-формы



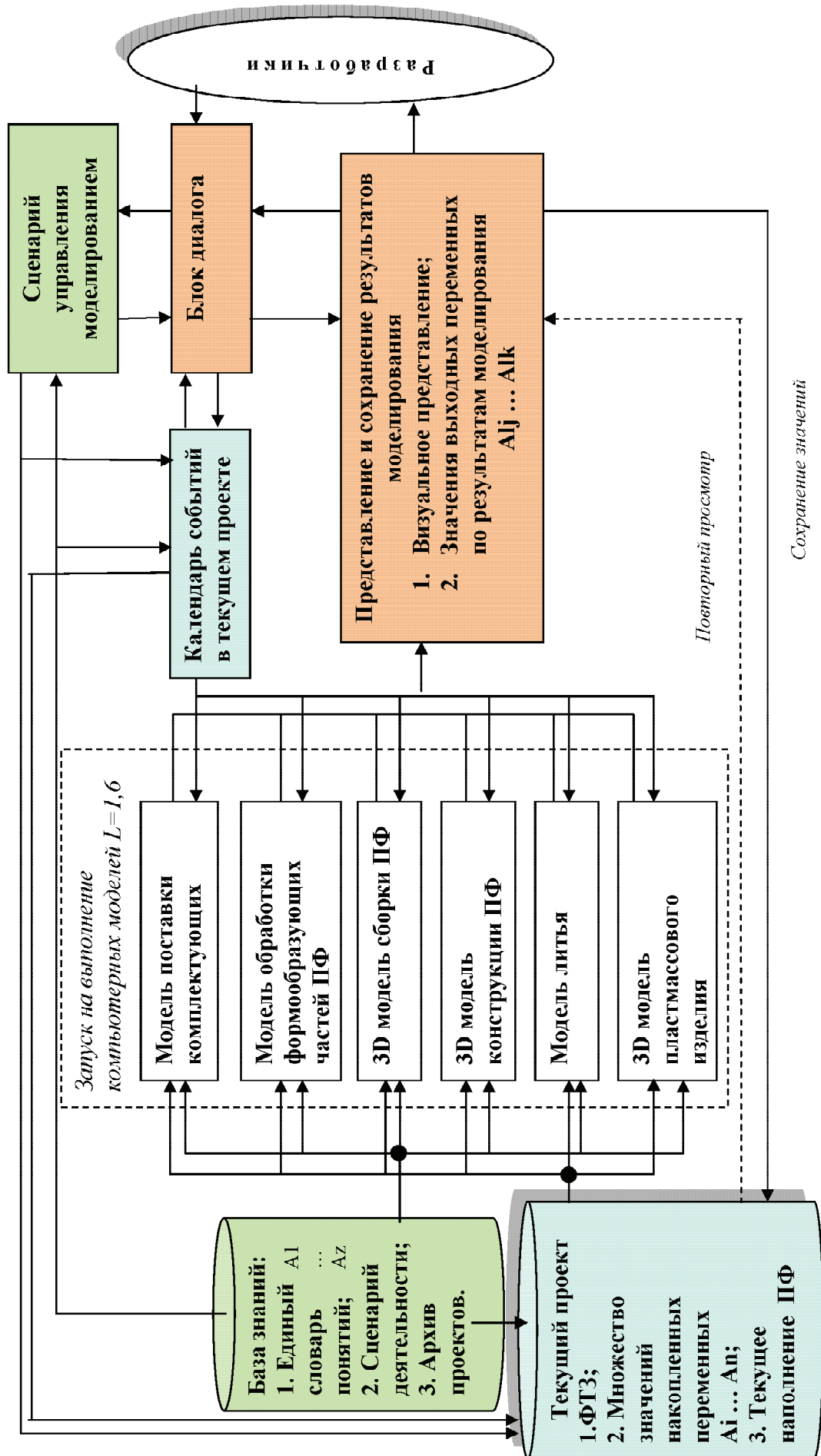


Рис. 6. Структура имитационной среды для проектирования и изготовления пресс-форм на основе системы компьютерных моделей

- управления эксплуатацией.

Применение набора компьютерных моделей существенно облегчает процесс проектирования и изготовления технологической оснастки и имеет массу преимуществ перед традиционными формами проектирования. Прежде всего, набор компьютерных моделей позволяет в виртуальном режиме:

- собрать воедино и представить в трехмерном виде конструкцию технологической оснастки;
- подобрать по предназначению, рассчитать, состыковать и согласовать создаваемые разными специалистами и организациями сборочные узлы будущей конструкции технологической оснастки;
- заранее проверить их жизнеспособность, функциональную пригодность, эксплуатационные качества;
- избежать внутренних нестыковок (коллизий) внутри конструкции технологической оснастки.

Предлагаемая организация деятельности позволяет на основе компьютерного моделирования с высокой степенью достоверности собственно объекта изготовления (в примере с пресс – формой – это пластмассовая деталь) и протекающих в ходе его изготовления процессов, отладить на семействе компьютерных моделей основные проектные решения при конструировании технологической оснастки. При этом разработчики с самых ранних этапов проектирования могут в виртуально удобной форме «видеть» работу всей системы в целом.

При этом особо важно подчеркнуть, что ин-

формационная модель обеспечивает проведение большей части экспериментов на виртуальной конструкции технологической оснастки.

Проверка может принимать различные формы, включая формальный (математический) анализ (например, для пресс – формы это могут быть тепловой, прочностной, анализ проливаемости полимера в пресс-форме и т.д.). Однако в машиностроении проверка гораздо чаще выливается в запуск трехмерной модели и имитацию ее работы на ЭВМ с целью визуализации текущего состояния разработки.

Процентное распределение заказов при проектировании ТО с использованием специализированной компьютерной базы знаний (на примере холодной листовой штамповки) приведено на рис. 7.

Содержащуюся в модели технологической оснастки информацию можно получать для внешнего использования в виде:

- чертежной 2D рабочей документации и чертежных 3D – видов моделей;
- плоских 2D-файлов и объемных 3D – моделей для использования в различных CAD – программах;
- таблиц, ведомостей и спецификаций;
- файлов для использования в Интернет;
- файлов с инженерными заданиями на изготовление входящих в модель технологической оснастки уникальных конструкций;
- файлов – заказов на поставку комплектующих;
- результатов тех или иных инженерных расчетов;

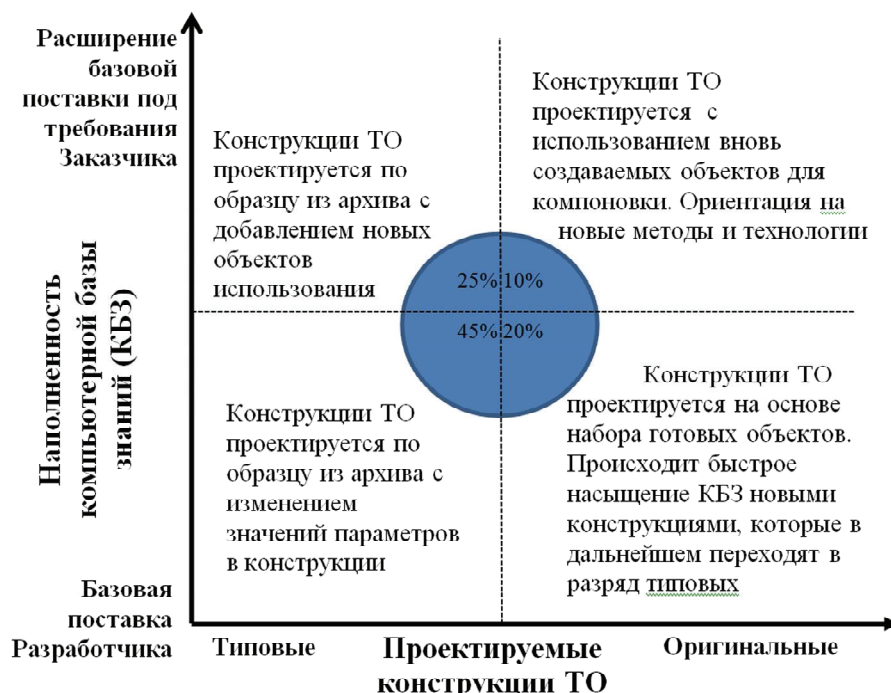


Рис. 7. Процентное распределение заказов при проектировании ТО с использованием специализированной компьютерной базы знаний (на примере ХЛШ)



- видеоматериалов, отражающих моделируемые процессы;
- файлов с данными для расчетов в других программах;
- файлов презентационной визуализации и анимации модели;
- объемных разрезов и других полных или неполных фрагментов сборки технологической оснастки;
- файлов для трехмерной печати;
- управляющих программ для изготовления модели или ее частей на станках с ЧПУ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбаков А.В., Кожин М.В., Орлов А.А. Итеративное управление проектированием и изготовлением сложных изделий на базе компьютерных моделей в условиях информационно-технологической среды // Научно-технический и производственный журнал Вестник компьютерных и информационных технологий, 2009. №12. С.21-28.
2. Эванс Э. Предметно-ориентированное проектирование (DDD): структуризация сложных программных систем.: Пер. с англ. М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2011. 448 с.
3. Pernin Keith. Технология цифровых прототипов – новый уникальный подход к проектированию пластмассовых изделий // Информационно-аналитический PLM – журнал CAD/CAM/CAE Observer, 2010. №8. С. 32-33.
4. Рыбаков А.В., Евдокимов С.А., Мелешина Г.А. Создание автоматизированных систем в машиностроении: Учеб. Пособие М.: Изд-во Станкин, 2001, 157 с.

## THE ORGANIZATION OF PROCESS OF DESIGN AND MANUFACTURING OF INDUSTRIAL EQUIPMENT ON THE BASIS OF OPERATED SYSTEM OF THE INTERCONNECTED COMPUTER MODELS

© 2012 A.V. Rybakov, A.A. Krasnov

Moscow State Technical University «STANKIN»

The new approach to design of industrial equipment through information modeling on the basis of operated system of the interconnected computer models is offered. Application of this approach will provide demanded quality, reduction of duration and decrease in labor input of design of difficult industrial equipment at machine-building enterprises.

Keywords: Industrial equipment, computer modeling, knowledge bases.