

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический университет  
имени П.О.Сухого»**

Кафедра «Технология машиностроения»

А. В. Петухов

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИ-  
ЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Учебное пособие для студентов специальности  
36 01 01 «Технология машиностроения»  
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 20

УДК 658.512.  
ББК 32.965я73  
ПЗ2

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
машиностроительного факультета ГГТУ им. П.О. Сухого  
(протокол № от 2023 г.)*

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
заочного факультета ГГТУ им. П.О. Сухого  
(протокол №6 от 01.06.2023 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Сельскохозяйственные машины» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого канд. техн. наук *В Б Попов*

**Петухов, А.В.**

ПЗ Автоматизированное проектирование технических объектов учебное пособие для студентов специальности 36 01 01 «Технология машиностроения» днев. и заоч. форм обучения А. В. Петухов – Гомель: ГГТУ им. П.О.Сухого, 202 – с.

Учебное пособие является методическим руководством при изучении дисциплины «Автоматизированное проектирование технических объектов» (АПТО). Пособие написано в соответствии с учебной программой по дисциплине «АПТО». Изложенные в нем сведения отражают современный научно-практический уровень развития АПТО

**УДК 658.512.**

**ББК 32.965я73**

© Петухов А.В.

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого», 202

# **1 Введение. Основные функции САПР изготовления технологической оснастки. Состав и назначение интегрированных САПР**

## ***Предмет, цель и задачи дисциплины***

Цель изучения – ознакомление студентов с основами проектирования и расчета технологической оснастки машиностроительного производства, формирование знаний и умений, необходимых для автоматизированного проектирования технологической оснастки.

Основными задачами являются освоение методик необходимых расчетов проектирование и применение студентами навыков для автоматизированного проектирования технологической оснастки

### **Требования к освоению учебной дисциплины**

В результате изучения материалов программы студент должен знать:

- методики проектирования различных видов приспособлений;
- типовые схемы базирования и установки заготовок при механической обработке;
- методику определения необходимого усилия закрепления заготовки, силового расчета зажимного механизма;
- методику прочностных расчетов;
- методику проектирования технологической оснастки;
- принципы работы приспособлений для различных видов обработки и сборки;

уметь:

- выполнять расчеты необходимого усилия закрепления заготовки;
- производить расчет зажимного устройства на точность;
- производить силовой расчет технических объектов;
- выполнять формирование 3D модели и проектировать трехмерную модель сборки;
- выполнять анализ трехмерной модели методом конечно элементного анализа;

владеть:

- навыками автоматизированного проектирования технических объектов;
- навыками трехмерного моделирования технических объектов;
- методикой проектирования трехмерной модели

Знание данной дисциплины позволяет проектировать технологическую оснастку для изготовления деталей и сборки машин в различных типах производства.

В соответствии с требованиями образовательного стандарта по специальности 136 01 01 «Технология машиностроения» студент должен обладать определенными компетенциями.

СК1.4.1 Владеть навыками автоматизированного проектирования технологических объектов, навыками трехмерного моделирования технических объектов.

А также развить и закрепить ряд профессиональных компетенций

– Участвовать в разработке технологических процессов и проектировании технологической оснастки в машиностроении.

– Владеть принципами и основными навыками, приемами, методами настройки, адаптации и сопровождения информационных систем и технологий в профессиональной деятельности.

– Осуществлять запуск в эксплуатацию и обслуживание металлорежущего сборочного оборудования, выполнять необходимые для этого диагностические, наладочные и ремонтные работы.

– Применять эффективную организацию основных и вспомогательных механосборочных процессов.

– Использовать методы анализа и мониторинга для проведения процессов профессиональной деятельности в соответствии действующим стандартам, технической документации, инструкциям, правилам и нормам.

– Применять прогрессивные энергоэффективные и ресурсосберегающие механосборочные технологии.

– Владеть информацией о современных системах и методах механизации и автоматизации производства в машиностроении и применять ее в своей профессиональной деятельности.

– Разрабатывать конструкторскую и технологическую документацию по специальности.

– Находить оптимальные проектные решения создания и модернизации технологической оснастки и технологических процессов в машиностроении.

– Использовать современные методы проектирования и оформления документации.

– Разрабатывать проекты создания новых или модернизации действующих участков, цехов, предприятий для механической обра-

ботки и сборки машин с техникоэкономическим обоснованием проектов.

– Заниматься аналитической и научноисследовательской деятельностью.

– Работать с научной, нормативносправочной и специальной литературой.

– Использовать современные методы и средства выполнения научных исследований и обработки их результатов, в том числе методы планирования экспериментов, вероятностностатистические и другие методы моделирования процессов, оценки их надежности и эффективности, средства автоматизации исследований.

– Анализировать и оценивать собранные данные.

Общее количество часов и распределение аудиторного времени по видам занятий

Форма получения высшего образования: дневная, заочная сокращенная, заочная.

Распределение аудиторного времени по видам занятий, курсам и семестрам приведено в табл. 1.1

*Таблица 1.1*

**Распределение аудиторного времени по видам занятий, курсам и семестрам**

	<b>Дневная форма</b>	<b>Заочная сокращенная форма</b>	<b>Заочная форма</b>
Курс			
Семестр			
Лекции (часов)			
Лабораторные занятия (часов)			
Всего аудиторных (часов)			
Формы текущей аттестации по учебной дисциплине			
Зачет, семестр			

***Особенности конструкторского проектирования в современных условиях***

Предметом дисциплины «Автоматизированное проектирование технических объектов» являются средства автоматизации процесса

проектирования технических объектов. Однако, прежде чем говорить непосредственно о них необходимо описать само понятие проектирования

Проектирование – в самом широком смысле процесс создания проекта, комплекса информации, описывающей прообраз предполагаемого или возможного объекта либо процесса. Проектирование в технике комплекс мероприятий, обеспечивающих поиск технических решения, удовлетворяющих заданным требованиям, их оптимизацию и реализацию в виде комплекта конструкторских документов и опытного образца (образцов), подвергаемого циклу испытаний на соответствие требованиям технического задания

Современное производство предъявляет все более жесткие требования к срокам и стоимости создания промышленных изделий. Условно можно выделить два этапа создания изделия: этап проектирования, когда формируется модель объекта, и этап воплощения его в материальную форму. Система автоматизированного проектирования охватывает весь спектр проблем, связанных с проектной деятельностью (графических, аналитических, экономических, эргономических, эстетических). Автоматизация проектирования является синтетической дисциплиной, включающей в свой состав другие современные информационные технологии. Например, техническое обеспечение систем автоматизированного проектирования основано на знании и использовании вычислительных сетей и телекоммуникационных технологий, в САПР используются персональные компьютеры и рабочие станции. Математическое обеспечение САПР отличается богатством и разнообразием используемых методов вычислительной математики, статистики, математического программирования, дискретной математики, искусственного интеллекта. Программные комплексы САПР относятся к числу наиболее сложных современных программных систем, основанных на операционных системах Unix, Windows, языках программирования C, C++, Java и других, современных CASE технологиях, реляционных и объектноориентированных системах управления базами данных (СУБД), стандартах открытых систем и обмена данными в компьютерных средах. Знание основ автоматизации проектирования и умение работать со средствами САПР требуется практически любому специалисту-разработчику. Предприятия, в едущие разработки без применения САПР или лишь с малой степенью их использования, оказываются неконкурентоспособными как изза

больших материальных и временных затрат на проектирование, так и из-за невысокого качества проектов

Анализ существующих подходов к проектированию станочных (СП) приспособлений показал, что в настоящее время можно выделить три подхода (рис. 1.1) к проектированию технологических станочных (СП) и контрольных (КП) приспособлений – производственный, инженерный и научный.



Рис. 1.1. Современные подходы к проектированию технологических приспособлений

*Производственный подход.* Такой подход (метод) основан на разработке проектов на уровне чертежно-конструкторской документации изделия для изготовления его составных частей, сборки, контроля и испытаний.

Основным способом их создания было неавтоматизированное проектирование (ручное проектирование с использованием кульмана и соответствующих инструментов), при котором разработка чертёжной документации характеризуется как сложный и трудоёмкий процесс, требующий высокой квалификации конструкторов (проектировщиков). С появлением ЭВМ способ создания чертёжной документации стал использоваться в виде «электронного кульмана».

Таким образом, производственный подход следует рассматривать как метод традиционного (интуитивного) проектирования, основанного на создании чертежей конструкций изделий в определенном масштабе и сопутствующей им документации. Особенность этого подхода заключается в следующем: результаты проектирования технологических приспособлений (с позиций технической кибернетики) представляются в виде «чёрного ящика» (рис. 1.2), где известны входы и выходы и практически неизвестно его содержимое, то есть имеет место отсутствие промежуточной информации (грубо говоря, содержимое ящика осталось в голове проектировщика).

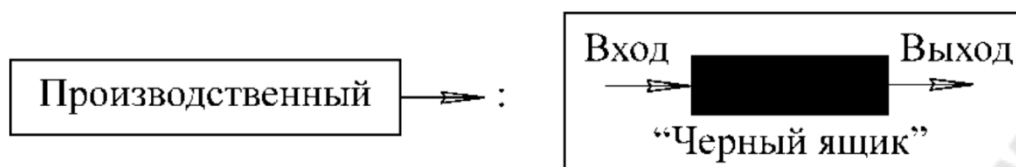


Рис. 1.2. К анализу производственного подхода к проектированию технологических приспособлений

*Инженерный подход.* Переход на современное производство привел к коренным изменениям не только в области технологии, но и в технологической оснастке, включая станочные (СП) и контрольные (КП) приспособления. На смену специальным не перенастраиваемым СП и КП пришли быстроперенастраиваемые приспособления. С их появлением изменились задачи проектирования и требования к технической документации. Во многих случаях отпала необходимость в разработке проектов таких приспособлений на уровне чертёжной документации.

Инженерный подход в отличие от производственного является методом проектирования более высокого уровня, назначение которого – разработка многоуровневого проекта «любой» конструкции приспособления.

Особенность этого подхода заключается в следующем: с позиций современной теории проектирования (с позиций технической кибернетики) проект этого уровня можно рассматривать как «прозрачный ящик» (рис. 1.3), в котором представляются все промежуточные результаты проектирования технологических приспособлений, включая возможность выдачи результатов проектирования на выходе в зависимости от требований к разработке проекта. Одним из свойств инженерного проектирования является визуальное представление всей проектной информации – входной, промежуточной (содержимого ящика) и выходной.

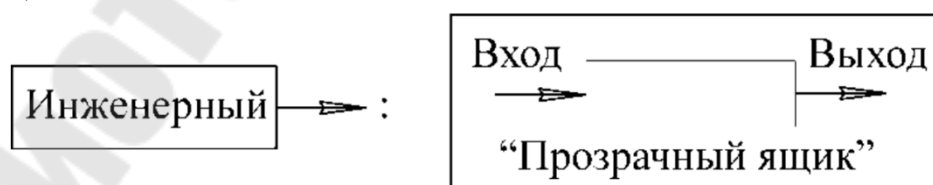


Рис. 1.3. К анализу инженерного подхода к проектированию технологических приспособлений

*Научный подход* На его основе осуществляется постоянное изучение, обобщение и внедрение в практику научных и технических до-



стижений в области технического проектирования, разработка теоретических основ проектирования технологических приспособлений, новых методов их проектирования и др. Например, на основе научного подхода был разработан системный подход к проектированию технических объектов (рис. 1.4).

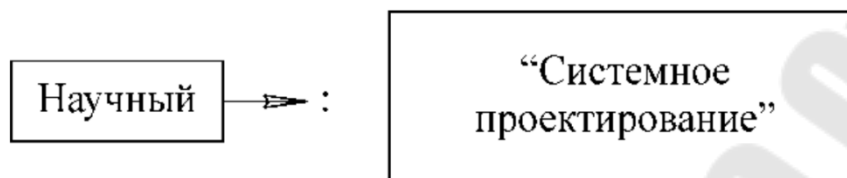


Рис. 1.4. К анализу научного подхода к проектированию технологических приспособлений

Изучение современных подходов к проектированию технологических приспособлений позволило установить перспективность их системного проектирования.

#### ***Состав задачи конструкторской и технологической подготовки производства***

Цель проектировщика традиционного типа заключается в том, чтобы разработать чертежи, которые могли бы получить одобрение клиента и дать необходимые указания изготовителю. Из определения проектирования как процесса, который вызывает изменения в искусственной среде, следует, что должны существовать какие-то другие цели, достижимые до окончания и даже до начала разработки чертежей. Проектирование оказывается все меньше направленным на сам разрабатываемый объект и все больше на те изменения, которые должны претерпеть производство, сбыт, потребитель и общество в целом в ходе освоения и использования нового объекта. Процесс внесения изменений в искусственную среду представляется как ряд событий, которые начинаются с поступления материалов и комплектующих изделий на завод-изготовитель и заканчиваются эволюционными изменениями в обществе под воздействием системы, в которую входит новое изделие. Каждое из этих событий представляет собой особый этап в существовании изделия и зависит от предшествующего события. Ни заказчики, ни проектировщики не могут непосредственно влиять на всю последующую историю изделия, оно выходит из под их контроля еще до поступления в производство. Заказчик дает проектировщику ориентировочные указания о том, какого будущего

состояния внешнего мира он хотел бы добиться. Если заказчику необходимо новое здание, в его заказе будут указаны расположение и размеры помещений, необходимых для размещаемой системы, т.е. будут определены системные требования. В соответствии с полученными заданиями проектировщик должен подготовить свои предложения. От него требуется тем или иным способом предсказать свойства объекта и реакцию на них на каждом этапе его существования. Для этого он на какихто моделях проводит экстраполяцию от известных характеристик аналогичных конструкций в прошлом к поведению объекта в будущем, в новой среде

*Конструкторская подготовка производства* –это совокупность работ по проектированию новой или совершенствованию выпускаемой продукции.

Вновь проектируемые изделия должны соответствовать по своим техникоэкономическим характеристикам передовым достижениям науки и техники, обеспечивать комплексную механизацию и автоматизацию производства, и повышение его эффективности. К новой продукции предъявляется ряд требований:

1 Непрерывное совершенствование качества продукции. Качество продукции –это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением;

2 Повышение надежности и долговечности продукции. Надежность –это свойство изделия сохранять технические параметры в заданных пределах и условиях эксплуатации (частота отказа изделия, безотказность, вероятность отказа изделия). Долговечность – свойство изделия длительно сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации до разрушения (ресурс работы, срок службы оборудования);

3 Повышение уровня технологичности продукции, под которой понимается облегчение процесса изготовления продукции, возможность применения прогрессивных методов;

4 Снижение себестоимости новой продукции за счет упрощения и совершенствования конструкции, замены дорогих материалов более дешевыми, снижение затрат, связанных с эксплуатацией продукции;

5 Использование при проектировании продукции существующих стандартов и унифицированных полуфабрикатов. Показатели стандартизации и унификации дают представление о степени исполь-

зования в продукции стандартизированных составных частей и уровне унификации.

6 Улучшение экономических показателей, основным из которых является экономический эффект от эксплуатации изделия, образующийся за счет уменьшения затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию продукции;

7 Обеспечение охраны труда и техники безопасности, а также удобств при эксплуатации и ремонте новых изделий. Это требование переплетается с повышением эргономичности разработки. Под эргономикой понимается область знания, комплексно изучающая трудовую деятельность человека в системах «человек – техника – среда» (СЧТС), с целью обеспечения ее эффективности, безопасности и комфорта. Главной целью эргономики является:

- Повышение эффективности СЧТС;
- Безопасность труда;
- Обеспечение условий для развития личности человека в процессе труда.

*Технологическая подготовка производства* (ТПП) представляет собой совокупность мероприятий, обеспечивающих *технологическую готовность производства*. При этом под *технологической готовностью производства* понимается наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями [4]

Технологическая подготовка включает комплекс работ, обеспечивающих наиболее эффективное применение новых, высокопроизводительных технологических процессов (ТП) с использованием передовых достижений науки и техники на базе максимальной механизации и автоматизации.

Под ТПП в общем случае понимается комплекс работ по следующим направлениям:

- обеспечение технологичности конструкции запускаемого в производство изделия,
- проектирование технологических процессов и средств технологического обеспечения,
- расчет технико-обоснованных материальных и трудовых нормативов, необходимого количества технологического оборудования и производственных площадей,

– внедрение технологических процессов и управление ими в производствах, обеспечивающее возможность выпуска нового изделия в заданных объемах.

Целью технологической подготовки является достижение в процессе изготовления продукции оптимального отношения между затратами и получаемыми результатами.

Одним из важнейших элементов ТПП является отработка на технологичность конструкций деталей, узлов, машин и механизмов.

Технологичной является такая конструкция, которая не только полностью удовлетворяет эксплуатационным требованиям, но и обеспечивает применение высокопроизводительных методов изготовления изделий, рациональное использование оборудования и материалов, преемственность и повторяемость деталей и сборочных единиц.

Процесс ТПП состоит из эвристических и формализованных методов. Эвристические методы базируются на различных идеях, интуитивном мышлении, способности к изобретательству. Эти методы реализуются высококвалифицированными инженерами. Формализованные методы, которые основываются на физико-математических закономерностях, широко используются при автоматизации ТПП

### ***Стадии и этапы проектирования изделий***

Создание и использование технического объекта – сложный, многостадийный, часто итеративный процесс. В самом общем виде его можно представить диаграммой, представленной на *рис*

Любое современное сложное техническое устройство есть результат комплексного знания. Проектировщик должен знать маркетинг, экономику страны и мира, физику явлений, многочисленные технические дисциплины (радиотехнику, вычислительную технику, математику, машиностроение, метрологию, организацию и технологию производства и т.д.), условия эксплуатации изделия, руководящие технические документы и стандарты. Кроме того, следует учитывать: особенности и требования реальной жизни, коллектива, чужой опыт, умение получать и оценивать информацию

Не последним требованием к проектировщику является комплексность мышления, умение работать с большим числом организаций. Особенно это умение необходимо разработчику изделия, входящего в более сложный комплекс (например, радиостанции для судна, самолета) или связанного с другими системами (по выдаче данных, питанию, управлению и т.д.).



*Рис* Место проектирования в процессе жизненного цикла объектов

Зачастую полный цикл проектирования называют НИОКР – Научноисследовательские и опытноконструкторские работы, в английском языке передается как – комплекс мероприятий, включающий в себя как научные (дизайнерские, концептуальные и т.д.) исследования, так и производство опытных и мелкосерийных образцов продукции, предшествующий запуску нового продукта или системы в промышленное производство. Предметом приложения САПР являются опытноконструкторские работы (ОКР), подробнее они представлены на *рис*



Рис Этапы опытноконструкторских работ

### ***1.5 Методы решения конструкторских задач в существующей системе подготовки производства***

Современное состояние предприятий машино и приборостроения характеризуется устойчивой тенденцией усложнения выпускаемой продукции наряду с увеличением номенклатуры и уменьшением серийности производства, что ведет к значительному увеличению объемов и сроков выполнения работ в сфере конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП). Необходимость реализации требований рыночной экономики заставляет предприятия постоянно улучшать потребительские свойства и качество изделий при максимальном сокращении сроков их выпуска.

В таких условиях современные автоматизированные системы проектирования являются стратегическим средством повышения конкурентоспособности продукции и гибкости производства и обеспечивают предприятию переход на качественно новый уровень решения конструкторско-технологических задач на основе объемных геометрических моделей объектов производства. Параллельно происходит

внедрение и освоение систем, предназначенных для управления конструкторскими и технологическими документами и данными об изделиях. Вместе с тем, как показывает опыт использования таких систем отечественными предприятиями, их внедрение в большинстве случаев не позволяет достичь показателей производительности труда, соответствующих показателям передовых промышленных стран

Такая ситуация складывается в связи с тем, что, несмотря на их универсальность, применение автоматизированных систем проектирования (широко распространяющихся в нашей стране лишь с начала 80-х годов) вызывает значительные функциональные и организационные изменения в подготовке производства и связано с решением многих технических, социальных и других сопутствующих проблем

Данные трудности обусловлены отсутствием методического и организационного обеспечения по использованию объемных моделей объектов производства в связи с тем, что основные системы стандартов, определяющие организацию процессов разработки технической документации (ЕСКД, ЕСТД и др.), не учитывают появление в процессах подготовки производства новых видов информации и данных об изделиях

В современных экономических условиях на базе дорогостоящих автоматизированных систем проектирования в лучшем случае создаются десятки автоматизированных рабочих мест. При этом массовыми на предприятиях остаются традиционные технологии проектирования и подготовки производства. Это обстоятельство предъявляет дополнительные требования к методическому обеспечению внедряемых автоматизированных систем проектирования, которое должно в первую очередь учитывать существующую организацию процессов разработки технической документации

Таким образом, исследование существующих методов решения задач конструкторско-технологической подготовки производства и разработка эффективных методов применения автоматизированных систем проектирования для их решения на предприятиях машиностроения и приборостроения весьма актуальны

Целью таких исследований является разработка методов решения задач конструкторско-технологической подготовки производства с применением автоматизированных систем проектирования, обеспечивающих обоснованность выбора таких систем, сокращение сроков внедрения и повышение эффективности эксплуатации на предприятиях машиностроения и приборостроения.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие основные задачи:

– исследовать существующие методы решения конструкторско-технологических задач, а также функциональные возможности автоматизированных систем проектирования и методы их применения в КТПП;

– разработать концептуальную модель объекта, производства, служащую основой для разработки методов использования автоматизированных систем проектирования

– разработать схему решения задач КТПП, обеспечивающую интеграцию их решения на основе концептуальной модели;

– разработать методику проектирования операционных эскизов, базирующийся на применении объемных моделей объектов производства;

– разработать метод проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ, основанный на применении унифицированных технологических решений;

– разработать средства адаптации автоматизированных систем проектирования к требованиям ЕСКД и ЕСТД предъявляемых к графической конструкторской и технологической документации

### ***Состав интегрированных САПР***

Разнообразие средств и выполняемых функций обуславливает сложность структуры САПР, в которой выделяют ряд видов функционального обеспечения. Компонентами САПР являются виды обеспечения САПР: техническое, математическое, программное, лингвистическое, информационное, методическое и организационное.

При проектировании все компоненты САПР функционируют во взаимодействии. Для проектировщика все программные и аппаратные средства выступают как единое целое, образуя инструмент проектирования.

ПО САПР есть совокупность программ и программных комплексов, независимо разработанных и автономно функционирующих или информационно связанных между собой. Во втором случае пользователь САПР имеет возможность формировать разные маршруты проектирования с помощью языка описаний заданий на проектирование

Составными структурными частями САПР являются подсистемы и комплексы. Подсистемы САПР обладают всеми свойствами систем и создаются как самостоятельные.

По назначению подсистемы САПР разделяют на проектирующие и обслуживающие.



*Проектирующие подсистемы САПР* – это подсистемы, выполняющие проектные процедуры. Например, подсистема конструкторского проектирования, подсистема технологического проектирования, подсистема проектирования деталей и сборочных единиц и т.п.

*Обслуживающие подсистемы САПР* – это подсистемы, обеспечивающие работоспособность проектирующих подсистем. Их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными (PDM), управления процессом проектирования (–Design Process Management), пользовательского интерфейса для связи разработчиков с ЭВМ, CASE (Computer Aided Software Engineering) для разработки и сопровождения программного обеспечения САПР, обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР

Промежуточное положение между обслуживающими и проектирующими подсистемами в большинстве САПР занимает подсистема машинной графики.

По отношению к объекту проектирования различают объектно ориентированные и объектно независимые подсистемы. К первым относят подсистемы, выполняющие одну или несколько проектных процедур или операций, непосредственно зависящих от конкретного объекта проектирования. Ко вторым относят подсистемы, выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции, например, функции обработки, независящие от особенностей проектируемого объекта

Понятие подсистемы САПР близко к понятию комплекса. В САПР выделяют программно методический комплекс (ПМК) и программно технический комплекс (ПТК). ПМК – взаимосвязанная совокупность некоторых частей программного, методического и информационного обеспечения, необходимая для получения законченного проектного решения по объекту проектирования. Выделяют ПМК оформления документации, синтеза проектных решений, моделирования и т.п. ПТК – взаимосвязанная совокупность программно методических комплексов, объединенных по некоторому признаку, и средств технического обеспечения САПР. Понятие ПТК относится к вычислительным системам, объединяющим аппаратные и программные средства и предназначенные для применения в САПР. Примером ПТК может служить автоматизированное рабочее место (АРМ),

включающее ЭВМ, периферийные устройства и ряд ПМК для выполнения проектных маршрутов и процедур.

ПМК и ПТК представляют собой промышленный продукт, разрабатываемый, изготавливаемый и поставляемый для создания или развития САПР на предприятиях заказчиков

### *Функции, характеристики и примеры систем*

Каждая из стадий проектирования, сопровождается созданием соответствующей конструкторской документации. Время, затрачиваемое на выполнение различных видов конструкторско-технологических работ, со значительной долей вероятности распределяется следующим образом:

70% от общей трудоемкости – вычерчивание проектируемого изделия и его составляющих,

- организация архивов и их ведение,
- собственно проектирование

Проектирование, в свою очередь, подразделяется на

- копирование архивных прототипов (70%),
- модификацию вариантов (20%),
- исправление ошибок (9%),
- разработку (1%)

Только с появлением доступной микропроцессорной техники формализация процесса проектирования стала доступной, что и привело к повсеместному внедрению в проектную деятельность систем автоматизированного проектирования. Большинство задач проектирования изделий, решаемых средствами САПР, можно разделить на следующие группы:

- компоновочногеометрические (объемные и плоские);
- документирования (текстовые и графические);
- подготовки управляющих программ для программно управляемых станков и машин;
- информационнопоисковые;
- расчетные

Компоновочногеометрические задачи как при создании средствами САПР двухмерного, традиционного чертежа, так и при построении трехмерной модели решаются с использованием одной из важнейших функциональных возможностей современных систем геометрического моделирования – параметризации. Ее сутью является наличие инструментов, обеспечивающих возможность простой

корректировки модели объекта, в том числе возможность многократного использования одной и той же модели с разными значениями ее размерных параметров. Это касается как моделей отдельных деталей и сборок, так и их чертежей. Помимо того, параметризация позволяет решать задачи иного рода. Например, при реконструкции 3D модели объекта по его чертежу необходимо обеспечить точное соответствие геометрических параметров модели размерам, проставленным на чертеже, а также размерам и геометрическим отношениям, присутствующим на чертеже, но не заданным в явном виде (параллельность или перпендикулярность плоскостей, соосность цилиндрических поверхностей и т.д.).

Реконструкция 3D модели объекта может выполняться в «условных координатах», снятых с чертежа, что позволяет получить правильную структуру модели объекта, однако числовые значения параметров модели, как правило, оказываются неверными, так как исходный чертеж чаще всего является не строго масштабным и мог быть выполнен с погрешностями. 3D модель объекта может быть приведена в соответствие с размерами, проставленными на чертеже, как на уровне проекций (до восстановления 3D модели), так и после завершения ее реконструкции в «условных координатах», снятых с чертежа. В обоих случаях задача получения заданных значений числовых параметров 3D модели реконструируемого объекта сводится к параметризации моделей геометрических объектов.

Первые системы автоматизированного проектирования с возможностями параметризации появились в 1989 г. Наиболее известные и популярные из них – Pro/Engineer (трехмерное твердотельное параметрическое моделирование) фирмы «Parametric Technology Corporation» и T/FLEX CAD (двухмерное параметрическое моделирование) фирмы «Топ Системы».

Параметризация двухмерных чертежей обычно доступна в CAD системах среднего и тяжелого классов, но так как эти системы ориентированы на 3D моделирование, то параметризация двухмерных чертежей практически не используется. Параметрические CAD системы, ориентированные на двухмерное черчение (легкий класс), зачастую являются «урезанными» версиями более продвинутых САПР.

Примеры двухмерных САПР с возможностью параметризации:

- интегрированная система, предназначенная для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства;

– «урезанный» вариант TFLEX CAD 3D российской компании «Топ Системы»; позволяет создавать полностью параметризованные чертежи; имеется функция автоматической параметризации;

– «урезанный» вариант SolidEdge компании «Siemens PLM Software»; программа полностью бесплатна, в том числе для коммерческого применения;

– AutoCAD (с оговорками): начиная с версии 2010, в AutoCAD появилась возможность создавать параметрические чертежи; с версии 2006 присутствует возможность создавать двухмерные динамические блоки; динамические блоки фактически представляют собой реализацию табличной параметризации; в вертикальных решениях на базе AutoCAD возможности параметризации обычно значительно шире;

– специализированное решение для двухмерного машиностроительного проектирования и черчения на базе AutoCAD; используется собственный механизм параметризации, не связанный с динамическими блоками базовой системы;

– КОМПАС График – система двухмерного машиностроительного и строительного проектирования и черчения, разработанная компанией «АСКОН».

Трехмерное параметрическое моделирование широко представлено в современных системах среднего и тяжелого классов, наличие параметрической модели заложено в идеологию самих САПР. Существование параметрического описания объекта является базой для всего процесса проектирования. Примеры САПР, использующих трехмерное твердотельное параметрическое моделирование:

– российская САПР среднего класса;

– САПР тяжелого класса французской фирмы «Dassault Systemes»;

– САПР среднего класса компании «Autodesk»;

– САПР среднего класса компании «SolidWorks Corporation» (подразделение «Dassault Systemes»);

– САПР среднего класса, использующая геометрическую параметризацию, российской компании «Топ Системы»;

– КОМПАС – известная российская САПР среднего класса компании «АСКОН», созданная на основе собственного ядра геометрического моделирования

## 2 Автоматизация конструкторского проектирования

### *Классификация задач конструкторского проектирования*

Основная задача конструкторского проектирования – реализация принципиальных схем, полученных на этапе функционального проектирования. При этом производятся конструирование отдельных деталей, компоновка узлов из деталей и конструктивных элементов агрегатов из узлов, после чего оформляется техническая документация на объект проектирования. Одна группа задач конструкторского проектирования определяет чисто геометрические параметры конструкции (например, параметры формы – задачи геометрического проектирования, а другая группа задач предназначена для синтеза структуры (топологии) конструкции с учетом ее функциональных характеристик – задачи топологического проектирования. Кроме того, к задачам конструкторского проектирования необходимо отнести проверку (анализ) качества полученных конструкторских решений. Классификация задач конструкторского проектирования показана на рис



Рис Классификация задач конструкторского проектирования

В Общем классификаторе промышленной продукции использованы признаки классификации, обеспечивающие решение технико-экономических задач, в основном, планирование объема выпуска готовой продукции, снабжения, сбыта и отчетности. В Классификаторе ЕСКД использованы конструкторско-технологические признаки классификации, обеспечивающие главным образом решение задач при проектировании и изготовлении изделий (конструкторской и технологической подготовки производства).

Для обобщения конструкций приспособлений создана классификация механически обрабатываемых деталей. При этом обычно пользуются технологическими классификаторами, хотя они не всегда удобны, так как в них содержится большое количество групп. Например, институтами Оргстанкинпром и Орглитмаш разработаны классификаторы деталей, обрабатываемых механическим способом, и построены классификационные карты на тысячу групп. В этих классификаторах основным подразделением является класс – совокупность деталей, характеризующихся общностью назначения, конструкторско-геометрической формой и общностью решения основных технологических задач, т. е. характером и порядком чередования операций обработки. В системе классификации Оргстанкинпрома 10 классов

– к классу относятся заготовки и детали без последующей обработки

– к классу 1 – мелкие детали диаметром до 400 мм и длиной до 100 мм (оси, валики, штифты, втулки, кольца, винты, болты, гайки, шурупы, угольники, тройники)

– к классу 2 – винты, валы длиной более 100 мм и т. д.

Каждый из 10 классов, в свою очередь, делится на 10 подклассов. Затем подклассы разделяются на группы по материалу, классу точности изготовления и термической обработке. Такая классификация пригодна для конструкторов, занимающихся нормализацией и унификацией деталей и их конструктивных элементов, или для заимствования деталей машин, освоенных заводом из ранее разработанных конструкций, при проектировании новых изделий, пригодна для технологов при разработке типовых технологических процессов на всю или часть группы деталей, для инженеров занимающихся вопросами специализации производственных участков.

### *Геометрическое моделирование и синтез формы деталей*

В алгоритмах геометрического проектирования фигурируют геометрические объекты, являющиеся исходными данными, промежуточными и окончательными результатами проектирования.

Геометрическая модель – совокупность сведений, однозначно определяющих форму геометрического объекта. Геометрические модели могут быть представлены совокупностью уравнений, линий и поверхностей, алгебраическими соотношениями, графиками, списками, таблицами, описаниями на специальных графических языках. Теоретической основой создания геометрических моделей является аналитическая геометрия, теория множеств, дифференциальная геометрия, теория графов, алгебра, логика. При геометрическом проектировании геометрические модели применяются для описания геометрических свойств объекта конструирования (формы, расположения в пространстве). Решение геометрических задач (позиционных и метрических), преобразований формы о положения геометрических объектов, ввода графической информации и оформление конструкторской документации. Различают геометрические модели, аналитические, алгебраические, канонические, рецепторные, каркасные, кинематические.

Аналитические геометрические макромодели представляются уравнениями, описаниями контуров или поверхностей деталей. Аналитические модели служат основой для описания элементарных геометрических объектов, на основе которых могут быть получены составные геометрические объекты.

Алгебраические геометрические модели обеспечивают задание плоских фигур и трехмерных тел, в которых геометрический объект описывается логической функцией, условно выражающей принадлежность точки тем или иным пространственным областям.

Канонические геометрические модели применяют в тех случаях, когда в геометрических объектах удастся выделить параметры, которые определяют их форму (для окружности такими параметрами являются координата центра и радиуса окружности).

Рецепторные – в основе имеют приближенное представление геометрического объекта в плоскости.

Каркасные – используют при описании поверхности в прикладной геометрии, при этом одним из основных понятий является понятие определителя поверхности. Определитель поверхности состоит из геометрических и алгоритмических частей и включает совокупность

условий задающих поверхностей и кинематической геометрической модели, используют параметрическую форму записи для описания плоских и пространственных линий.

К наиболее важным позиционным заданиям относятся определяющие принадлежности точки к замкнутой, плоской или трехмерной области, определения пересечения или касания плоских или объемных тел в процессе их движения, оценка минимального и максимального расстояния и т.д.

Основными параметрами детали, вычисляемыми при решении метрических задач моделирования, являются площади, массы, моменты инерции, объемы, центры масс. Для определения этих параметров исходный геометрический объект разбивается на элементарные геометрические объекты (в плоских фигурах выделяются секторы, треугольники и трапеции).

### *Имитационное моделирование машиностроительных изделий*

Имитационное моделирование применяется для исследования и проектирования таких сложных систем и процессов, как предприятия, информационные сети, мировая динамика в экономике, экологии и т.д. Модель представляется в виде алгоритма, в котором определяются все наиболее существенные элементы, связи в системе и задаются начальные значения параметров, соответствующие «нулевому» моменту времени.

Все последующие изменения, происходящие в системе по закону причин и следствий, вычисляются с помощью средств логической обработки данных при выполнении данного алгоритма. Такой метод не требует составления уравнений и не требует их решения исследователю, может найти широкое применение во многих сферах человеческой деятельности без дополнительных специальных знаний.

В ходе имитационного эксперимента компьютер имитирует функционирование системы и вычисляет характеристики свойств, проявляемых системой.

Имитационный эксперимент подобен натурному эксперименту, однако отличие от натурального метода позволяет экспериментировать с системами, которых еще или уже нет, а также предсказывать поведение существующих систем в будущем, изучать их поведение в чрезвычайных ситуациях. Он дешевле и быстрее натуральных экспериментов. Относительно социального натурального эксперимента, необходимость в котором постоянно возникает в процессе управления, сле-



дует отметить, что это немалый риск, сопряженный с этическими проблемами.

Имитационное моделирование в управлении может восприниматься как своеобразный «тренажер», позволяющий руководителю любого уровня прогнозировать деятельность организации при влиянии различных контролируемых и неконтролируемых факторов внешней и внутренней среды. С помощью простейших инструментов имитационного моделирования имеется возможность просчитывать вероятность того или иного результата при учете влияния сразу нескольких факторов. Оперативность и простота метода позволяет варьировать огромное количество ситуаций при множестве комбинаций начальных условий.

Постоянный процесс накопления результатов моделирования приведет к тому, что образуется хотя и огромный, но конечный массив типовых управленческих ситуаций с конечным числом стандартных образов поведения. Появится возможность регламентировать большую часть управленческой деятельности.

Это позволит снизить «стрессоёмкость» процесса управления как для руководителя, так и для подчиненных, повысить оперативность и эффективность управленческой деятельности. Появятся дополнительные концептуально новые возможности по делегированию полномочий.

Имитационное моделирование является универсальным методом, который обеспечивает как точный анализ, так и визуальное представление альтернативных вариантов управленческого поведения.

Данный инструментарий позволит решить еще одну острую проблему – расчет стоимостной оценки результатов деятельности руководителя. Это становится возможным вследствие учета одновременно действующих факторов управленческой деятельности, обладающих самостоятельными стоимостными оценками. Имитационная модель позволяет увязывать влияние сразу всех этих факторов и во времени, и в пространстве.

Возможность просчета стоимостной оценки управленческой деятельности способствует совершенствованию системы оплаты труда в отношении тех категорий кадровой структуры, для которых ранее это было принципиально невозможно. Вознаграждение представителей этих категорий рассчитывалось исходя из временного фактора или по методу «время бесконтрольности», когда оценивается не работа, а ис-

полнитель. Объективная ограниченность ресурсов предприятия приводит к тому, что возникает постоянная необходимость в их оптимальном распределении. Прозрачность и научная обоснованность расчета вознаграждения каждой категории кадровой структуры является необходимым условием такого распределения, а также способствует снижению социальной напряженности, связанной с необоснованностью уровня вознаграждения.

Входные и выходные данные имитационного эксперимента имеют тесную связь с нормативными базами данных показателей деятельности, являющихся аналогами репозитариев при структурном моделировании.

Формирование системной модели является необходимым в силу того, что начальные этапы разработки также нуждаются в формализации. Описательных процедур недостаточно для эффективного структурирования управленческой информации, и в этом смысле системная модель является «опытным образцом» будущей информационной среды.

Имеется возможность описать, проверить и скорректировать будущую систему до момента реализации, что приведет также и к снижению затрат. Системная модель позволяет, кроме того, оценить разработку по времени и результатам, что актуально с точки зрения затрат и адекватности обеспечиваемому процессу. Улучшается качество разрабатываемой модели, что выражается в оптимизации структуры интегрированной базы данных.

Стадия координации и систематизации управленческой информации заключается в упорядочении массивов выбранной информации в четко структурированную базу данных информационной управленческой среды. На данном этапе акцент делается на обеспечение процесса формирования модели – информационное, программное, техническое, математическое, методическое и ресурсное.

На основе системной модели, целью которой было принципиально разрешить основные противоречия процесса моделирования информационного обеспечения процесса управления, строится техническая модель – оптимальный прототип рабочей модели.

Формирование технической модели проходит в два этапа:

– проектирование архитектуры системы, включающее разработку отдельных компонентов (автоматизированных рабочих мест), согласование функций и требований, определение информационных критериев;

– детальное проектирование, включающее разработку спецификаций, регламентов каждого компонента, разработку требований интеграции компонентов, а также построение моделей иерархии управленческих модулей и межмодульных взаимодействий и проектирование внутренней структуры модулей.

### ***Примеры САПР конструирования машиностроительных изделий***

Система автоматизированного проектирования (САПР) – сложный комплекс средств, предназначенный для автоматизации проектирования.

Согласно принятым в 1980х годах стандартам, САПР – это не просто некая программа, установленная на компьютере, это информационный комплекс, состоящий из аппаратного обеспечения (компьютера), программного обеспечения, описания способов и методов работы с системой, правил хранения данных и многого другого.

Однако, с приходом на отечественный рынок иностранных систем, широкое распространение получили аббревиатуры CAD (Computer Aided Design), которую можно перевести, как проектирование с применением компьютера, и CADsystem, которую можно перевести, как система для проектирования с помощью компьютера.

В настоящее время в среде специалистов по САПР многие термины утратили свой первоначальный смысл, а термин САПР теперь обозначает программу для автоматизированного проектирования. Другими словами, то, что раньше называлось ПО САПР или системой, теперь принято называть системой автоматизированного проектирования (САПР). Также можно встретить названия САД система, КАДсистема, система САПР и многие другие, но все они обозначают одно – некую программу для автоматизированного проектирования.

На современном рынке существует большое количество САПР, которые решают разные задачи. В данном обзоре мы рассмотрим основные системы автоматизированного проектирования в области машиностроения.

#### ***Базовые и легкие САПР***

Легкие системы САПР предназначены для 2Dпроектирования и черчения, а также для создания отдельных трехмерных моделей без возможности работы со сборочными единицами.

Безусловный лидер среди базовых САПР – \_\_\_\_\_

–это базовая САПР, разрабатываемая и поставляемая компанией Autodesk. AutoCAD – самая распространенная САД система в мире, позволяющая проектировать как в двумерной, так и трехмерной среде. С помощью AutoCAD можно строить 3Dмодели, создавать и оформлять чертежи и многое другое. является платформенной САПР, т.е. эта система не имеет четкой ориентации на определенную проектную область, в ней можно выполнять хоть строительные, хоть машиностроительные проекты, работать с изысканиями, электрикой и многим другим.



Рис.2.2. Логотип системы AutoCAD, компании

Система автоматизированного проектирования AutoCAD обладает следующими отличительными особенностями:

- Стандарт «де факто» в мире САПР;
  - Широкие возможности настройки и адаптации;
  - Средства создания приложений на встроенных языках (AutoLISP ипр.) и с применением API;
  - Обилие программ сторонних разработчиков.
- Кроме того, Autodesk разрабатывает вертикальные версии
- AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical и другие, кот орые предназначены для специалистов соответствующей направленности.



Рис.2.3. Логотип системы компании

В настоящее время на рынке появился целый ряд систем, которые позиционируются, как альтернатива AutoCAD. Среди них можно отдельно отметить Bricscad от компании Bricsys, которая очень ак-

тивно развивается, поддерживает напрямую формат DWG и имеет целый ряд отличий, включая инструменты прямого вариационного моделирования, поддержку BIM технологий.

### *САПР среднего уровня*

Средние системы САПР – это программы для 3D моделирования изделий, проведения расчетов, автоматизации проектирования электрических, гидравлических и прочих вспомогательных систем. Данные в таких системах могут храниться как в обычной файловой системе, так и в единой среде электронного документооборота и управления данными (PDM и PL системах). Часто в системах среднего класса присутствуют программы для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ (CAM системы) и другие программы для технологического проектирования.

САПР среднего уровня – самые популярные системы на рынке. Они удачно сочетают в себе соотношение “цена/функциональность”, способны решить подавляющее число проектных задач и удовлетворить потребности большей части клиентов.

---

Профессиональный комплекс для трехмерного проектирования промышленных изделий и выпуска документации. Разработчик – компания Autodesk.



*Рис.2.* . Логотип системы компании

Среди особенностей Inventor стоит отметить:

- Продвинутые инструменты трехмерного моделирования, включая работу со свободными формами и технологию прямого редактирования
- Поддержку прямого импорта геометрии из других САПР с сохранением ассоциативной связи (технология AnyCAD)
- Тесную интеграцию с программами Autodesk Max, Alias, Revit, Navisworks и другими, что позволяет использовать Inventor для решения задач в разных областях, включая дизайн, архитектурно-строительное проектирование и пр.

- Поддержку отечественных стандартов при проведении расчетов, моделировании и оформлении документации
- Обширные библиотеки стандартных и часто используемых элементов
- Обилие мастеров проектирования типовых узлов и конструкций (болтовые соединения, зубчатые и ременные передачи, проектирование валов и колес и многое другое)
- Широкие возможности параметризации деталей и сборок, в том числе управление составом изделия
- Встроенную среду создания правил проектирования iLogic.

Для эффективного управления процессом разработки изделий, управления инженерными данными и организации коллективной работы над проектами, Autodesk Inventor может быть интегрирован с системой Autodesk Vault и схожими системами других разработчиков.

---

Трехмерный программный комплекс для автоматизации конструкторских работ промышленного предприятия. Разработчик – компания Dassault Systemes.



Рис.2. . Логотип системы компании

- Черты системы, выгодно отличающие ее от других САДсистем:
- Продуманный интерфейс пользователя, ставший образцом для подражания
  - Обилие надстроек для решения узкоспециализированных задач
  - Ориентация как на конструкторскую, так и на технологическую подготовку производства
  - Библиотеки стандартных элементов
  - Распознавание и параметризация импортированной геометрии
  - Интеграция с системой SolidWorks PDM

---

Система трехмерного моделирования машиностроительных изделий, которую разрабатывает Siemens PLM Software.



Рис.2. . Логотипсистемы компании

Среди преимуществ системы можно выделить:

- Комбинацию технологий параметрического моделирования на основе конструктивных элементов и дерева построения с технологией прямого моделирования в рамках одной модели
- Расчетные среды, включая технологию генеративного дизайна
- Поддержку ЕСКД при оформлении документации
- Расширенные возможности проектирование литых деталей и оснастки для их изготовления
- Встроенный модуль автоматизированного создания схем и диаграмм
- Тесную интеграцию с Microsoft SharePoint и PLMсистемой Teamcenter для совместной работы и управления данными

### Компас

Компас –это система параметрического моделирования д е-талей и сборок, используемая в областях машиностроения, приборо-строения и строительства. Разработчик –компания Аскон (Россия).



Рис.2. ЛоготипсистемыКомпас компанииАскон

Преимущества системы Компас

- Простой и понятный интерфейс
- Использование трехмерного ядра собственной разработки
- Полная поддержка ГОСТ и ЕСКД при проектировании и оформлении документации
- Большой набор надстроек для проектирования отдельных разделов проекта

- Гибкий подход к оснащению рабочих мест проектировщиков, что позволяет сэкономить при покупке
- Возможность интеграции с системой автоматизированного проектирования технологических процессов ВЕРТИКАЛЬ и другими системами единого комплекса.

САПР среднего уровня, построенная на основе лицензионного трехмерного ядра Parasolid. Разработчик системы – компания ТопСистемы (Россия).



Рис.2. Логотип системы компании ТопСистемы

Отличительные черты системы:

- Мощнейшие инструменты параметризации деталей и сборок
- Продвинутое средство моделирования
- Простой механизм создания приложений без использования программирования
- Интеграция с другими программами комплекса Т
- Инструменты расчета и оптимизации конструкций.

#### *«Тяжелые» САПР*

Тяжелые САПР предназначены для работы со сложными изделиями (большие сборки в авиастроении, кораблестроении и пр.) Функционально они делают все тоже самое, что и средние системы, но в них заложена совершенно другая архитектура и алгоритмы работы.

Система 2D и 3D параметрического проектирования сложных изделий от компании PTC. САПР PTC Creo широко используется в самых разных областях проектирования.





Рис.2. Логотип системы компании

Выгодные отличия системы от конкурирующих решений:

- Эффективная работа с большими и очень большими сборками
- Моделирование на основе истории и инструменты прямого моделирования
- Работа со сложными поверхностями
- Возможность масштабирования функциональности системы в зависимости от потребностей пользователя
- Разные представления единой, централизованной модели, работающей в системе
- Тесная интеграция с PLM-системой PTC Windchill.

— флагманская система САПР производства компании Siemens PLM Software, которая используется для разработки сложных изделий, включающих элементы со сложной формой и плотной компоновкой большого количества составных частей.



Рис.2. Логотип системы компании

Ключевые особенности NX:

- Поддержка разных операционных систем, включая UNIX, Linux, Mac OS X и
- Одновременная работа большого числа пользователей в рамках одного проекта
- Полнофункциональное решение для моделирования
- Продвинутое инструменты промышленного дизайна (свободные формы, параметрические поверхности, динамический рендеринг)

- Инструменты моделирования поведения мехатронных систем
- Глубокая интеграция с PLM системой Teamcenter.

Система автоматизированного проектирования от компании Dassault Systemes, ориентированная на проектирование сложных комплексных изделий, в первую очередь, в области авиастроения и кораблестроения.



Рис.2. Логотип системы компании

Отличительные особенности:

- Стандарт “де факто” в авиастроении
- Ориентация на работу с моделями сложных форм
- Глубокая интеграция с расчетными и технологическими системами
- Возможности для коллективной работы тысяч пользователей над одним проектом
- Поддержка междисциплинарной разработки систем.

#### *Облачные САПР*

В последнее время активно начали развиваться «облачные» САПР, которые работают в виртуальной вычислительной среде, а не на локальном компьютере. Доступ к этим САПР осуществляется либо через специальное приложение, либо через обычный браузер. Неоспоримое преимущество таких систем – возможность их использования на слабых компьютерах, так как вся работа происходит в «облаке»

Облачные САПР активно развиваются, и если несколько лет назад их можно было отнести к легким САПР, то теперь они прочно обосновались в категории средних САПР.

САПР Fusion 360 ориентирована на решение широкого круга задач, начиная от простого моделирования и заканчивая проведением сложных расчетов. Разработчик системы –компания Autodesk.



Рис.2. Логотипсистемы компании

Особенности Fusion 360:

- Продвинутый интерфейс пользователя
- Сочетание разных методов моделирования
- Продвинутые инструменты работы со сборками
- Возможность работы в онлайн и оффлайн режимах (при наличии и отсутствии постоянного подключения к сети Интернет)
- Доступная стоимость приобретения и содержания
- Расчеты, оптимизация, визуализация моделей
- Встроенная САМсистема
- Возможности прямого вывода моделей на 3Dпечать.

Полностью «облачная»САПР Onshape разрабатывается компанией Onshape.



Рис.2. Логотипсистемы компании

На что стоит обратить внимание при выборе Onshape:

- Доступ к программе через браузер или мобильные приложения
- Работа только в режиме онлайн
- Узкая направленность на машиностроительное проектирование
- Полный набор функций для моделирования изделий машиностроения
- Контроль версий создаваемых проектов

– Поддержка языка FeatureScript для создания собственных приложений на основе Onshape.

В настоящее время на рынке присутствуют самые разные современные САД системы, которые отличаются между собой как по функциональности, так и по стоимости. Выбрать подходящую систему автоматизированного проектирования среди многих САД – непростая задача. При принятии решения необходимо ориентироваться на потребности предприятия, задачи, которые стоят перед пользователями, стоимость приобретения и содержания системы и многие другие факторы

### *Автоматизация оформления конструкторской документации*

Разработка изделий, программных продуктов, создание автоматизированных систем сопровождаются разработкой технической документации ТД – так было, есть и будет. Но для множества компаний разного «калибра» разработка ТД остается занятием рутинным, трудоемким, ресурсоемким, а результаты – сомнительными. Причины понятны, выход – в автоматизации разработки технической документации.

Проблема известна и во многом обусловлена отношением к техдокументации (и к ее разработке), как к чему-то вторичному, если не ненужному вообще. Тем не менее, вынужденное осознание факта, что техническая документация должна быть, служит серьезным стимулом к снижению рутинности, трудоемкости и ресурсоемкости ее разработки путем автоматизации, особенно при значительных объемах и разноплановости техдокументации.

Попытки автоматизации внедрением современных систем электронного документооборота или контроля версий решают проблемы лишь частично – для большинства таких систем «атомарным» объектом является документ в целом, представленный отдельным файлом. Разработчик же, согласно п. 4.1 ГОСТ 2.105, манипулирует логическими элементами структуры документа – разделами, подразделами, пунктами, подпунктами и абзацами

### *Мотивы к применению ГОСТ при разработке технической документации*

Для опытных разработчиков основным мотивом применения ГОСТов представляется разумность добровольного следования общеизвестным, проверенным годами и признанным государством правилами игры.

«Основное назначение стандартов ЕСКД состоит в установлении единых оптимальных правил, требований и норм выполнения, оформления и обращения конструкторской документации, которые обеспечивают:

- применение современных методов и средств при реализации процессов ЖЦ изделия;
- взаимообмен конструкторской документацией без ее переоформления;
- безбумажное представление информации и использование электронной цифровой подписи
- необходимую комплектность конструкторской документации;
- автоматизацию обработки КД и содержащейся в них информации;
- высокое качество изделий
- наличие в конструкторской документации требований, обеспечивающих безопасность использования изделий для жизни и здоровья потребителей окружающей среды, а также предотвращение причинения вреда имуществу;
- расширение унификации и стандартизации при проектировании изделий и разработке конструкторской документации;
- проведение сертификации изделий
- сокращение сроков и снижение трудоемкости подготовки производства
- правильную эксплуатацию изделий;
- оперативную подготовку документации для быстрой переналадки действующего производства
- создание и ведение единой информационной базы;
- гармонизацию стандартов ЕСКД с международными стандартами (ИСО, МЭК) в области конструкторской документации;
- информационную поддержку ЖЦ изделия.

Не вызывает сомнений факт, что ЕСКД направлена на достижение взаимной удовлетворенности хозяйствующих субъектов. Найдется ли заказчик, готовый отказаться от высокого качества изделий? Заинтересованы ли заказчик и исполнитель в сокращении сроков производства, в оптимальной комплектности документации? Ответы очевидны.

Особо о «камне за пазухой», который ЕСКД приберегла для нерадивых разработчиков. Безобидный на первый взгляд пункт 7 в ГОСТ 2.105 указывает на ответственность разработчика в части ре а-

лизации требований безопасности, пункт 11 в ГОСТ 2.105 заставляет задуматься о возможных негативных последствиях неправильной эксплуатации изделия.

Любая система стандартов не ограничивается исключительно требованиями безопасности – достаточно пролистать, к примеру, ГОСТ 34.602, содержащий громадный набор требований к создаваемой АС. Коекто попытается возразить – мол, ГОСТ 34.602 безнадежно устарел, его невозможно применить на практике. Отнюдь нет.

Скептики, с немалым удивлением, обнаружат, что к современным АС предъявляются те же принципиальные требования – структурные, функциональные и технические, изложенные в стандарте почти тридцатилетней давности. А какие же качественно новые принципиальные требования предъявляют, к примеру, к ПО по прошествии тридцати лет? Пожалуй, требования к графическому пользовательскому интерфейсу. Но разве ГОСТ 19.201 исключает формулировку указанных требований в техническом задании (ТЗ)?

Знание требований стандартов, способность грамотно, не допуская множественных трактовок, сформулировать требования в технической документации, дает разработчику возможность избежать проблем как при проектировании, так и после ввода изделия или АС в промышленную эксплуатацию

#### *Как избежать проблем при проектировании*

При проектировании АС волейневолей приходится сталкиваться с надзорными органами. Одной из задач надзорных органов является экспертиза ТД, предоставленной разработчиком, на соответствие требованиям «отраслевых» стандартов.

Исключить взаимодействие с надзорными органами невозможно. Смонтированная на объекте заказчика полностью работоспособная автоматизированная измерительно-информационная система коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) так и останется «незаконнорожденной», если ТД не будет согласована в Энергонадзоре. Энергонадзор попросту не даст «добро» на ввод системы в промышленную эксплуатацию

#### *Как избежать проблем после ввода системы в промышленную эксплуатацию*

После ввода изделия или АС в промышленную эксплуатацию возможны как формальные претензии к исполнителю со стороны за-

казчика (изза неоднозначно трактуемых формулировок в техдокументации), так и более серьезные претензии.

Исключить формальные претензии заказчика возможно единственным способом – разработкой стопроцентно согласованной (непротиворечивой) технической документации с учетом требований ГОСТов. Проектные решения должны полностью удовлетворять требованиям технического задания, эксплуатационные документы – строго соответствовать проектным решениям. Согласованная и не допускающая множественного толкования ТД послужит отличной документальной базой в арбитраже.

Ситуация из области охраны труда – банковский клерк гибнет от поражения электрическим током при прямом прикосновении к безобидной настольной лампе. Запускается формальнейшая процедура расследования, в ходе которой выясняется, что несчастный клерк не был аттестован на II группу по электробезопасности и не имел права не то что пользоваться настольной лампой, но и приближаться к ней на расстояние пушечного выстрела.

Кто виноват? Банковский юрист предъявит суду руководство по эксплуатации лампы-убийцы, в котором не найдется ни слова о соблюдении персоналом правил электробезопасности. Сложно сказать, кто ответит за невинно убиенного. Возможно, ответственность ляжет на компанию производителя, а руководство банка отделается легким испугом. Вот, к чему может привести незнание и неприменение требований нормативов при разработке технической документации.

*Как обеспечить обязательное применение ГОСТ?*

В ряд подразделов технического задания по ГОСТ 34.602 включается перечень нормативно-технической документации (НТД), на основании которой создается АС. Любая НТД, упомянутая в подразделах согласованного и утвержденного ТЗ, обретает силу Закона как для заказчика, так и для исполнителя. Ведь ТЗ разрабатывается на основании договора и является неотъемлемой его частью, а договор между хозяйствующими субъектами – в компетенции действующего законодательства.

*Общие требования к документам, разрабатываемым в ходе создания системы*

Общие требования к документам, разрабатываемым в ходе создания АС, изложены в ГОСТах серии Виды и комплектность документов регламентируются ГОСТ 34.201 Основопологающим является ТЗ на АС по ГОСТ 34.602-89, требования к структуре и с о-

держанию ТД на АС изложены в РД 50 . Перечисленное – всего лишь необходимый минимум, не учитывающий специфических требований к создаваемой АС.

#### *Специфические требования к создаваемой системе*

Специфические требования, предъявляемые к каждому конкретному виду АС, сформулированы в соответствующей «отраслевой» НТД. Так, к примеру, п. 7.1.69 ПУЭ (Правил эксплуатации электростанций) гласит – «В помещениях зданий металлические корпуса однофазных переносных электроприборов и настольных средств оргтехники класса I по ГОСТ 12.2.007.075 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» должны присоединяться к защитным проводникам трехпроводной групповой линии».

Стоит ли напоминать, что наличие такой формулировки в подразделах «Требования безопасности» (или «Подготовка объекта автоматизации к вводу системы в действие») технического задания, проектной, рабочей и эксплуатационной документации обязательно? А вот конкретные требования по защите информации от несанкционированного доступа следует заимствовать из Руководящего документа Гостехкомиссии «Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации» в зависимости от заявленного заказчиком класса защищенности создаваемой АС.

#### *Предпосылки к практической реализации авторского подхода*

Как же «объять необъятное», учесть требования огромного количества НТД, придать разрабатываемой техдокументации «стройный строгий вид», избавиться от рутины и не вступить в конфликт с Законом? Необходимые и достаточные предпосылки налицо. К ним относятся:

особенности НТД, применяемой при разработке технической документации;

доступность специализированных средств разработки документации, построенных на основе концепции единого источника (исходника).

*Особенности НТД, применяемой при разработке технической документации*

НТД, применяемая при разработке технической документации, обладает рядом очевидных и полезных особенностей:

– взаимосвязью, повторяемостью структуры и содержания большинства документов;



– типовым наполнением разделов большинства документов.

*Виды документов, разрабатываемых на стадиях и этапах создания автоматизированных систем*

Виды документов, разрабатываемых на стадиях «Эскизный проект», «Технический проект», «Рабочая документация» согласно п. ГОСТ 34.201 приведены в табл

Напомним, что основополагающим документом при создании АС является техническое задание. Оно содержит обязательный к исполнению перечень требований к системе, которые должны быть реализованы в ходе создания АС. Реализация требований подтверждается проведением испытаний

«Обоснования» указывают, как разработчик подтверждает целесообразность принимаемого им решения. Но решения не могут существовать в отрыве от требований – так подавляющая часть текста требований «перекочевывает» из технического задания во все документы обоснования. А как пояснить в описании назначение системы и ее частей без использования текста требований по назначению из технического задания?

*Таблица 2.1*

**Виды документов, разрабатываемых на стадиях конструкторского проектирования**

Вид документа	Код документа	Назначение документа
Ведомость	<b>В</b>	Перечисление в систематизированном виде объектов, предметов и т.д.
Схема	<b>С</b>	Графическое изображение форм документов, частей, элементов системы и связей между ними в виде условных обозначений
Инструкция	<b>И</b>	Изложение состава действий и правил их выполнения персоналом
Обоснование	<b>Б</b>	Изложение сведений, подтверждающих целесообразность принимаемых решений
Описание	<b>П</b>	Пояснение назначения системы, ее частей, принципов их действия и условий применения
Конструкторский документ		По ГОСТ 2.102
Программный документ		По ГОСТ 19.101

Становится очевидным, что все виды документов, разрабатываемых на стадиях и этапах создания АС, являются взаимосвязанными. Более того, взаимосвязанными на уровне структурных единиц документов – разделов, подразделов, пунктов и подпунктов, отдельных абзацев. Рассмотрим последнее утверждение детально.

*Взаимосвязанность, повторяемость структуры и содержания технической документации*

В табл сопоставлены требования к содержанию разделов техзадания (ТЗ), пояснительной записки к проекту и общего описания системы

Таблица 2.

**Сопоставление требований к содержанию разделов техзадания (ТЗ), пояснительной записки к проекту и общего описания системы**

Документ	Содержание разделов
Техническое задание	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) перечень подсистем, их назначение и основные характеристики, требования к числу уровней иерархии и степени централизации системы;</li> <li>2) требования к способам и средствам связи для информационного обмена между компонентами системы;</li> <li>3) требования к характеристикам взаимосвязей создаваемой системы со смежными системами, требования к ее совместимости, в том числе указания о способах обмена информацией (автоматически, пересылкой документов, по телефону и т. п.);</li> <li>4) требования к режимам функционирования системы;</li> <li>5) требования по диагностированию системы;</li> <li>6) перспективы развития, модернизации системы.</li> </ol>
Пояснительная записка	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) решения по структуре системы, подсистем, средствам и способам связи для информационного обмена между компонентами системы, подсистем</li> <li>2) решения по взаимосвязям АС со смежными системами, обеспечению ее совместимости;</li> <li>3) решения по режимам функционирования, диагностированию работы системы;</li> </ol>
Общее описание системы	<p>2.11.3. В разделе «Описание системы» указывают:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) структуру системы и назначение ее частей;</li> <li>2) сведения об АС в целом и ее частях, необходимые для обеспечения эксплуатации системы;</li> <li>3) описание функционирования системы и ее частей.</li> </ol> <p>2.11.4. В разделе «Описание взаимосвязей АС с другими системами» указывают:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) перечень систем, с которыми связана данная АС;</li> <li>2) описание связей между системами;</li> <li>3) описание регламента связей;</li> <li>4) описание взаимосвязей АС с подразделениями объекта автоматизации.</li> </ol>

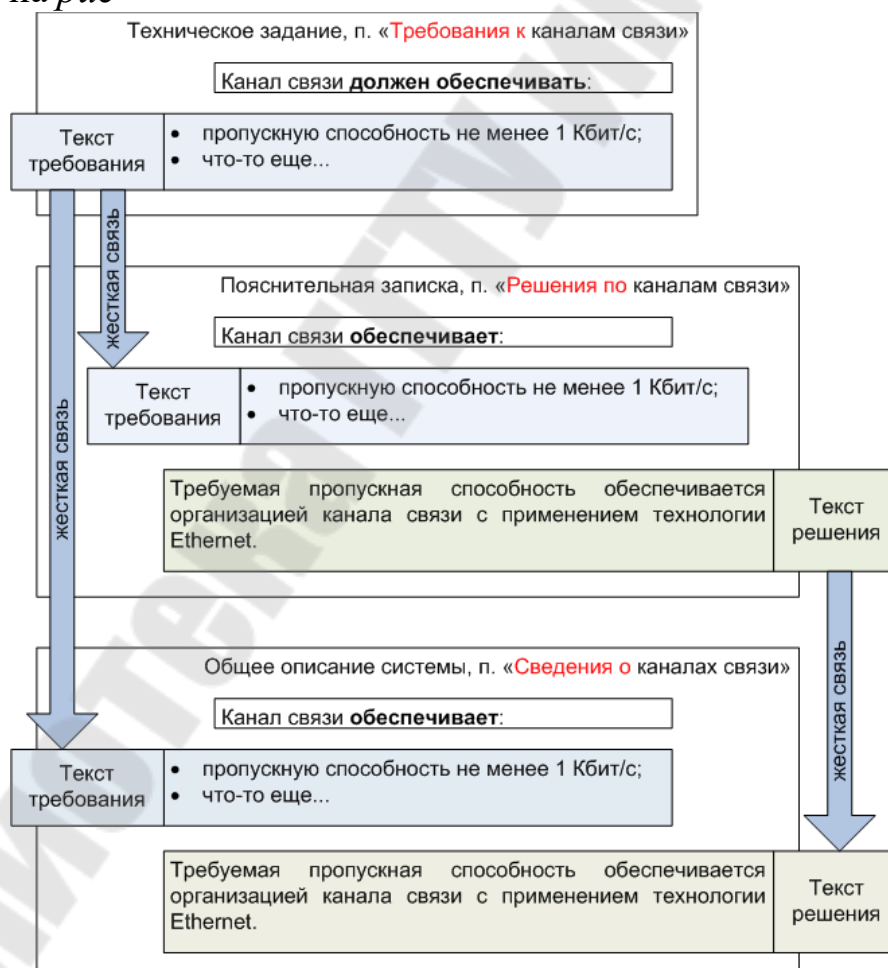
Обратите внимание на повторяемость элементов структуры – содержания разделов. Имеющиеся различия незначительны и сводятся к применению минимального набора клише:

- в ТЗ «требования к...»;
- в пояснительной записке «решения по...»;
- в общем описании системы «описание...» и «сведения о...».

В итоге, повторяющиеся, по существу, разделы различных документов выглядят так:

<b>Требования к</b>	режимам функционирования системы
<b>Решения по</b>	режимам функционирования системы
<b>Сведения о</b>	режимах функционирования системы

Таким образом, жесткая взаимосвязь между структурными элементами отдельных документов, разрабатываемых в ходе создания АС, сомнений не вызывает. Иллюстрация вышеизложенного представлена на *рис*



*Рис*

Иллюстрация жесткой взаимосвязи между структурными элементами отдельных документов, разрабатываемых в ходе создания АС

*Современные специализированные программные средства, основанные на концепции единого источника*

Современные специализированные программные средства, основанные на концепции единого источника, представлены как отечественными, так и зарубежными разработками.

В частности, в основу модели TFLEX DOCs положена трехуровневая архитектура. Фактически это означает, что все используемые на рабочих местах данные хранятся и обрабатываются на сервере, а интерфейс пользователя – клиентское место, позволяет лишь отображать данные и инициировать процессы их обработки. Взаимодействие между клиентом и сервером обеспечивается посредством сервера приложений.

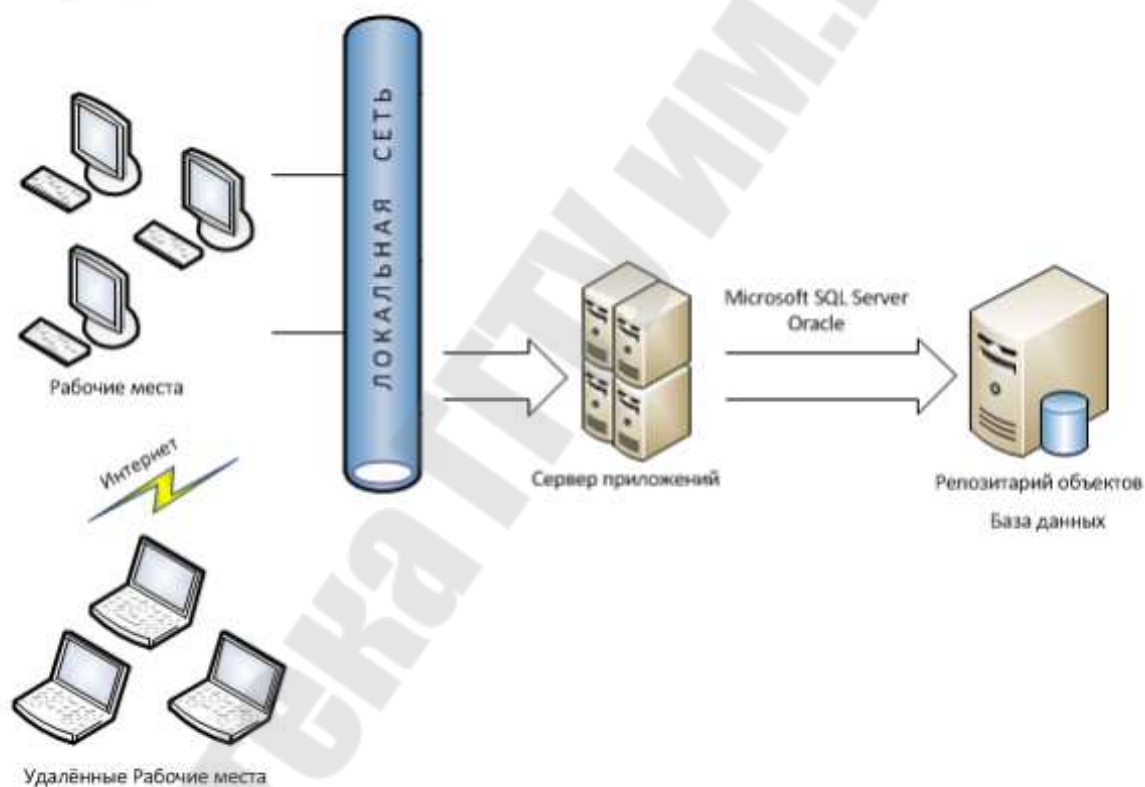


Рис Архитектура трехуровневых приложений

Основой системы является объект, который представляет собой набор параметров и системной информации с возможностью связи с ним одного или нескольких файлов. В соответствии с этим серверная часть системы делится на два основных компонента: сервер баз данных, хранящий параметры объектов и другую системную информацию, и файловый сервер, отвечающий за хранение файлов объектов.

Сервер баз данных управляет общей системной базой данных (хранилищем данных), реализованной на Microsoft SQL Server или Oracle, а файловый сервер – хранилищем файлов, разделенным на разделы. В совокупности хранилище данных и хранилище файлов реализованы посредством совокупности справочников. Доступ, доставка файлов из файлового хранилища на рабочее место пользователя, проверка актуальности, обновление, удаление и другие операции с файлами выполняются посредством функций API.

*API (программный интерфейс приложения, интерфейс прикладного программирования) (англ. application programming interface, – описание способов (набор классов, процедур, функций, структур или констант), которыми одна компьютерная программа может взаимодействовать с другой программой.*

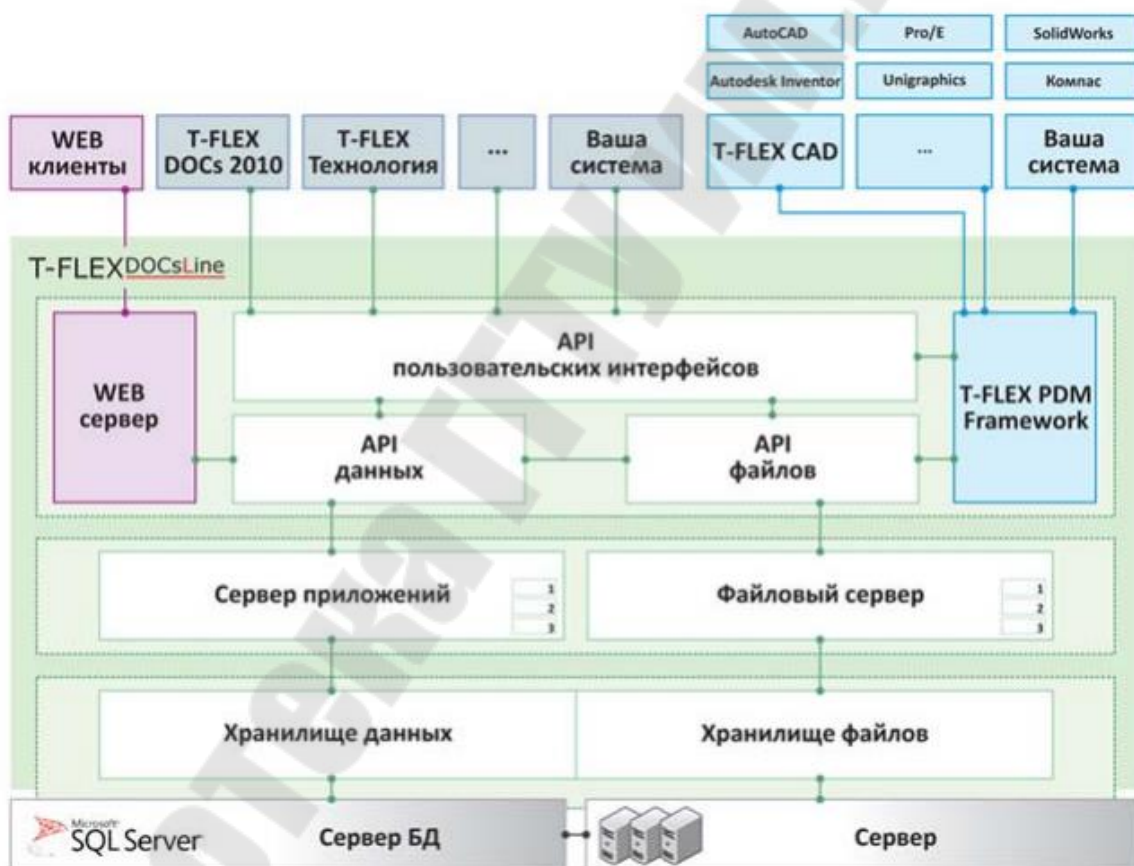


Рис Принципиальная схема работы Т

В соответствии с современными требованиями в области построения систем масштаба предприятия файловый сервер (как хранящий наибольшие объемы информации) поддерживает использование нескольких разделов в пределах одного компьютера, а система в целом поддерживает несколько одновременно работающих (на разных

компьютерах) файловых серверов. В зависимости от масштабов предприятия и количества клиентских мест, хранилище может располагаться как на одном, так и на нескольких компьютерах, а сервер приложений быть совмещен с сервером базы данных на одном компьютере. Однако, с точки зрения безопасности, надежности и масштабирования конфигурации, сервер базы данных и файлсервер рекомендуется размещать на выделенных компьютерах, подключив к ним по сети один или несколько серверов приложений, с которыми, в свою очередь, по локальной или глобальной сети взаимодействуют клиентские компьютеры. На рис приводится пример типовой организации работы системы TFLEX DOCs как в пределах локальной, так и глобальной сети. Система FLEX DOCs может полноценно использоваться как в сетях с доменной организацией, так и в одноранговых сетях. Клиентские места TFLEX DOCs организуются в зависимости от потребностей предприятия. Они могут включать в себя рабочие места конструкторско-технологических отделов, архива предприятия, рабочие места канцелярии, маркетинговой службы и руководства предприятия



Рис. 2.17 Структура Т

Клиентское приложение T предназначен для работы пользователя и представляет собой самостоятельное приложение, использующее парольный доступ и предоставляющее весь спектр возможностей системы в строгом соответствии с правами пользователя на выполнение конкретных операций над конкретными объектами.

### **3 Двухмерное проектирование и черчение**

Основные принципы двухмерного проектирования и черчения рассмотрим на примере системы T. Она является системой параметрического автоматизированного проектирования и черчения, и обеспечивает высокую степень гибкости и возможность изменения изображения при сохранении соотношений между элементами, предусмотренных разработчиком. Уникальный механизм параметризации и полный набор профессиональных инструментов компьютерного проектирования позволяют существенно упростить процесс конструирования и оформления графической документации. T FLEX CAD позволяет использовать конструктору в CAD-программе опыт работы на кульмане.

Параметрическое проектирование, возможность назначения геометрических параметров через переменные и изменения этих параметров – это будущее всех систем автоматизированного проектирования и черчения. Эффективность системы T FLEX CAD базируется в первую очередь на новой геометрической модели. Эта модель позволяет наполнить понятие «параметризация» существенно более глубоким, чем это принято в других системах, содержанием. Идея параметризации уже прочно завоевала свое место в компьютерном проектировании. Под параметризацией подразумевается, прежде всего, многократное использование чертежа с возможностью изменения его параметров. Практически все разработчики CAD-систем заявляют о средствах параметризации. Но, разработанные задолго до появления концепции параметризации, эти системы вынуждены использовать для поддержки параметризации свою, не приспособленную для этого внутреннюю организацию данных. Это приводит к получению либо неэффективных, либо ограниченных решений. Революционно новый подход к идее параметризации и то, что параметрическая модель лежит в основе чертежа, при работе в системе T FLEX CAD качественно расширяют возможности параметрического проектирования.

FLEX CAD использует привычные для конструктора элементы и параметры проектирования. При этом совершенно не обязательно ставить элементы чертежа на точные позиции. Возможности по модификации размеров элементов и их положения на чертеже не имеют аналогов в других CADсистемах.

Уникальными по своим возможностям являются средства создания сборочных параметрических чертежей. TFLEX CAD позволяет получать сложные чертежи, в которых его отдельные части могут быть взаимосвязаны. Связь можно задать как через геометрическую зависимость, так и через значения параметров. При этом обеспечивается удаление невидимых линий в случае, если отдельные части чертежа перекрывают друг друга. Уровень вложенности отдельных частей чертежа не ограничен. Меняя параметры сборочного чертежа, можно за считанные секунды получить готовые чертежи нового проектируемого изделия. Одновременно с измененным сборочным чертежом вы получите и чертежи его составных частей (деталей), а также другие сопутствующие документы.

Одним из обычных атрибутов параметрических CADсистем является язык программирования, который используется для задания параметрических связей. В этой связи проявляется еще одно существенное достоинство программы TFLEX CAD. От инженера не требуется никаких специальных знаний в области программирования. Параметрам чертежа могут назначаться переменные. С помощью простых математических формул переменные можно связывать между собой. При этом не нужно изучать какойлибо язык программирования. Назначение переменных может происходить и при создании элемента, и при его последующем редактировании. Значения переменных можно получать из других чертежей или автоматически отбирать из баз данных. Все это делает возможности по модификации чертежа безграничными.

Наряду с параметрическим проектированием, в T широко применяется метод быстрого создания непараметрических чертежей так называемых эскизов. Этот метод позволяет создавать чертежи аналогично большинству широко известных CADсистем, используя стандартный набор функций создания различных примитивов: дуг, окружностей, отрезков и т.д. При создании новых элементов, таким образом, используются объектные привязки и динамические подсказки, такие как: попадание курсором на горизонталь или вертикаль по отношению к точке другого элемента; привязка к центру дуги



или окружности и т.д. При построении дуг автоматически фиксируются углы 90, 180, 270 градусов, а также совпадение центра дуги с курсором по горизонтали и вертикали. Система автоматически отслеживает совпадение двух объектных привязок. Любая объектная привязка может быть зафиксирована с помощью функциональной клавиши, и курсор будет двигаться в соответствии с выбранной объектной привязкой. Таким образом, эскизирование является более быстрым способом создания чертежа, однако, такие чертежи не обладают преимуществом эффективного изменения параметров (размеров), поэтому этот метод рекомендуется использовать в тех случаях, когда не требуется существенной последующей модификации.

Высокоэффективные средства системы TFLEX CAD позволяют использовать ее для широкого круга задач. Система успешно применяется в конструировании (проектирование различного оборудования, инструмента; разработка конструкций штампов и прессформ; проектирование готовых изделий и т.д.), для решения технологических задач (оформление технологических карт, спецификаций; подготовка данных для разработки технологических процессов; подготовка информации для систем программирования оборудования с ЧПУ), в задачах строительства и архитектуры, при разработке различных типов схем, при динамическом графическом моделировании процессов и механизмов, в задачах художественного оформления и дизайна. Наиболее эффективно TFLEX CAD применяется в тех областях, где наиболее полно реализуется идея параметрического проектирования, а также, где необходимо охватить все этапы конструирования (эскизный проект, черновой чертеж, рабочий чертеж). TFLEX CAD позволяет значительно ускорить процесс проектирования и подготовки графической документации.

### ***Настройка системы***

При запуске открывается окно **Приветствие**. Оно объединяет несколько разделов.

В разделе **Недавние** файлы показан список недавно использованных документов. Для открытия любого из этих документов достаточно указать на него курсором и нажать [левую кнопку мыши]. Можно также воспользоваться кнопкой [ *Открыть* ]

Раздел **Создать** новый документ позволяет создать новый документ на основе любого из присутствующих в системе прототипов. Для удобства выбора все прототипы разбиты по группам (Детали и сборки, Чертежи, Спецификации, Фотореализм).

Содержимое этих разделов дублирует функциональность меню **Файл** → **Предыдущие файлы** и команды «Создать новый документ на основе файла прототипа».

Раздел **Что нового** расскажет о новых возможностях установленной версии.

При выборе раздела **Загрузки** в браузере открывается страница, на которой можно скачивать установочные файлы примеров, библиотек и др.

Раздел **Учебное пособие** содержит базовые сведения о работе в, которые в первую очередь пригодятся начинающим пользователям.

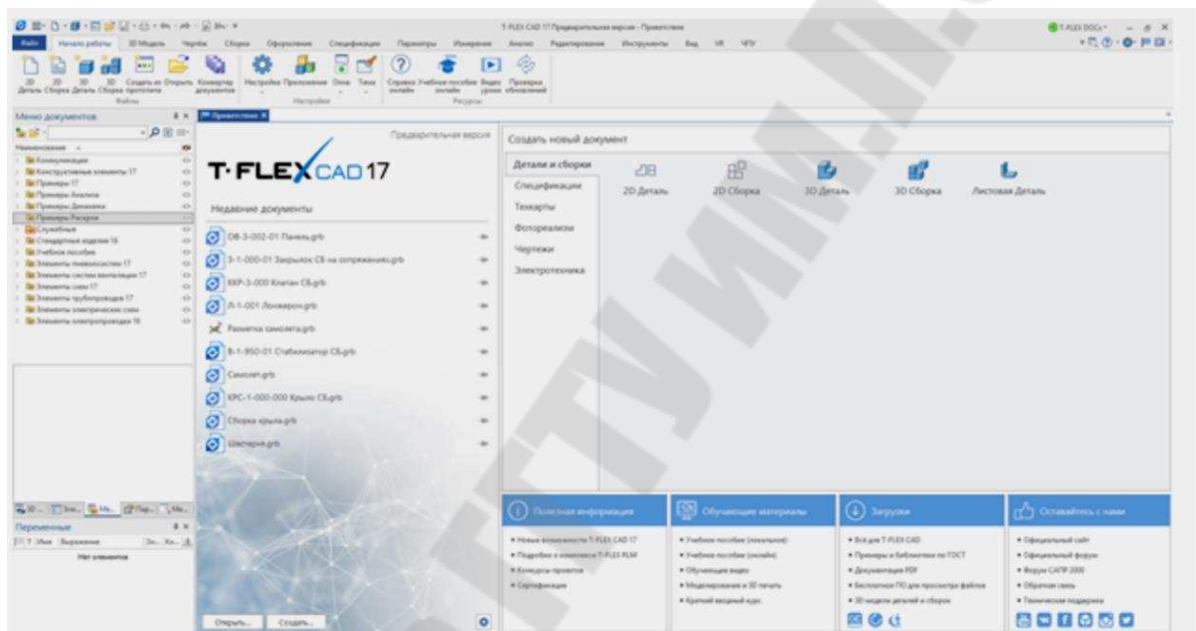


Рис Вид начального экрана системы версия 17

Диалог **Приветствие** при стандартных настройках системы всегда присутствует на экране. Его закладка будет находиться в одном ряду с закладками открытых документов системы. Чтобы активировать окно **Приветствие** в текстовом интерфейсе нужно выбрать пункт **Настройка** → **Окна** → **Стартовая страница**.

Есть возможность фиксации файлов, добавлена настройка параметров при запуске, обновлён ресурсный центр.

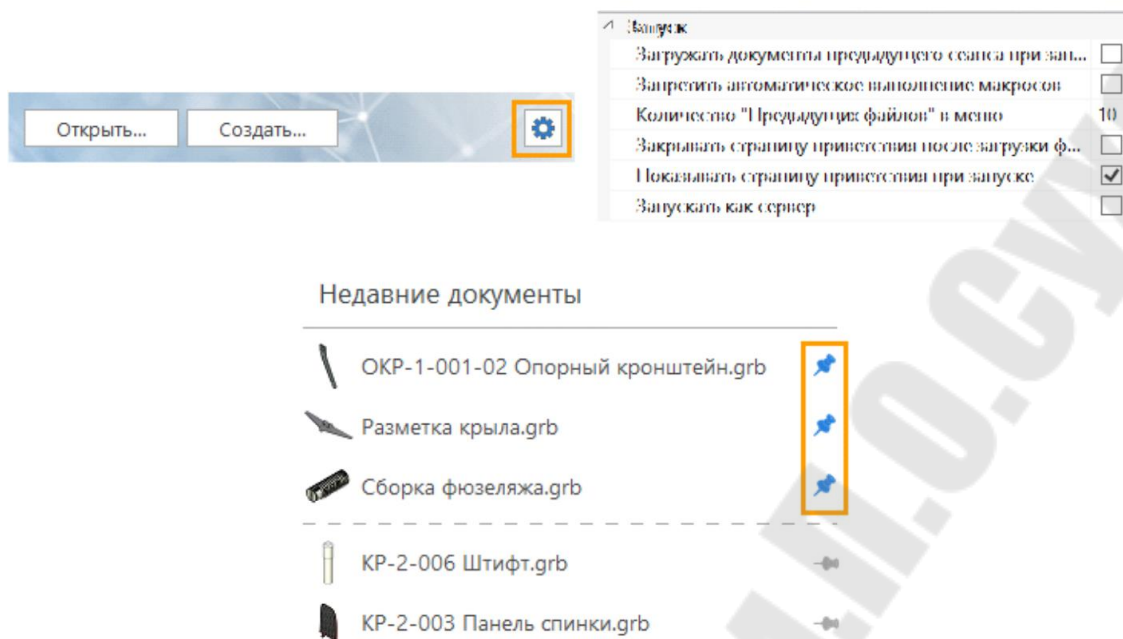


Рис Иллюстрация обновлений в версии 17 системы

В ленточном интерфейсе нужно выбрать специальную иконку в правой верхней части окна.

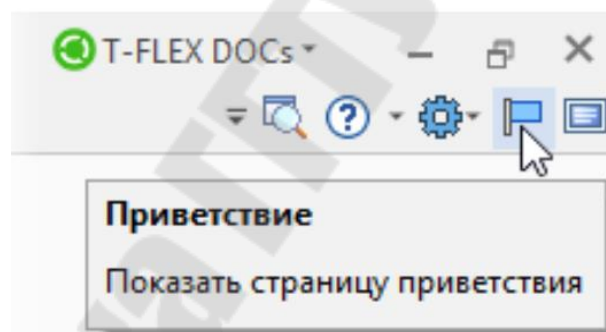


Рис Действие для перехода на страницу **Приветствие** в версии системы

В Т существует два типа интерфейса: ленточный и текстовый. Ленточный интерфейс отличается удобством работы с командами и простотой их поиска. Текстовый интерфейс использовался в предыдущих версиях системы.

Для переключения между интерфейсами можно использовать флаг **Режим** ленты в команде «Настройка системы» на закладке **Параметры**

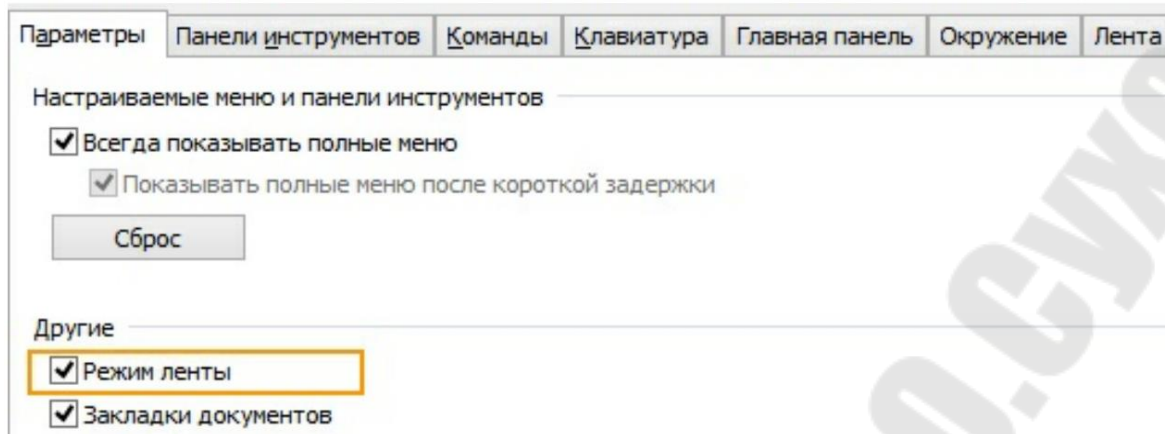


Рис Иллюстрация переключения между интерфейсами через использование флага **Режим**

В ленточном интерфейсе команды распределены по вкладкам. Название каждой вкладки отражает содержимое. Иконки команд объединены в группы.

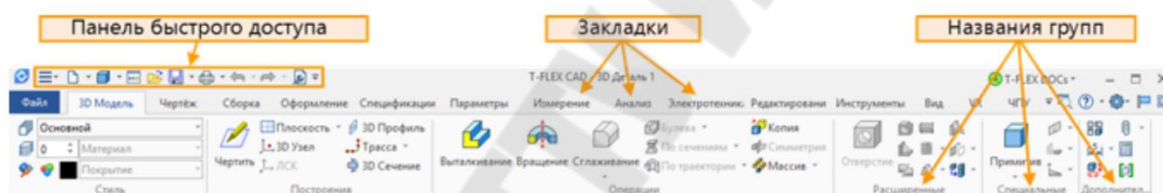


Рис Распределение команд по вкладкам

В заголовке окна находится панель быстрого доступа, на которой расположены команды для работы с документом: **Деталь** **Открыть** **Сохранить** **Отменить действие** **Повторить действие**. Эти команды доступны всегда и не зависят от активной вкладки. Здесь же находится команда вызова команды **Параметры** документа

Кнопка **Файл** содержит команды для работы с документом.

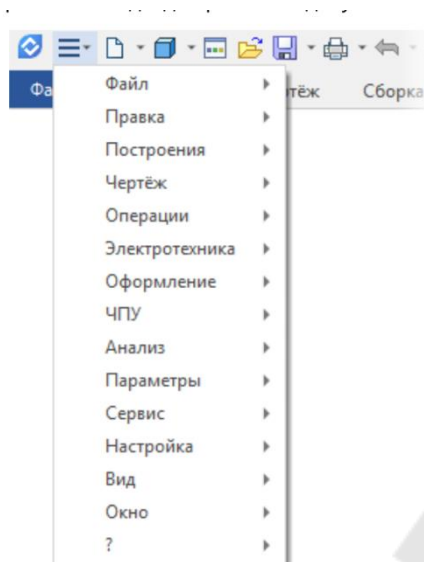








Рис. Контекстное меню кнопки **Файл**

Полный набор команд в виде текстового меню можно вызвать с помощью выпадающего списка 

В правом верхнем углу находятся: поле для отображения интеграции с системой Т , выпадающее меню справки , выпадающее меню настроек системы , команда для отображения окна приветствия , команда для включения полноэкранный режим 

В выпадающем меню  можно настроить видимость различных вкладок ленты.

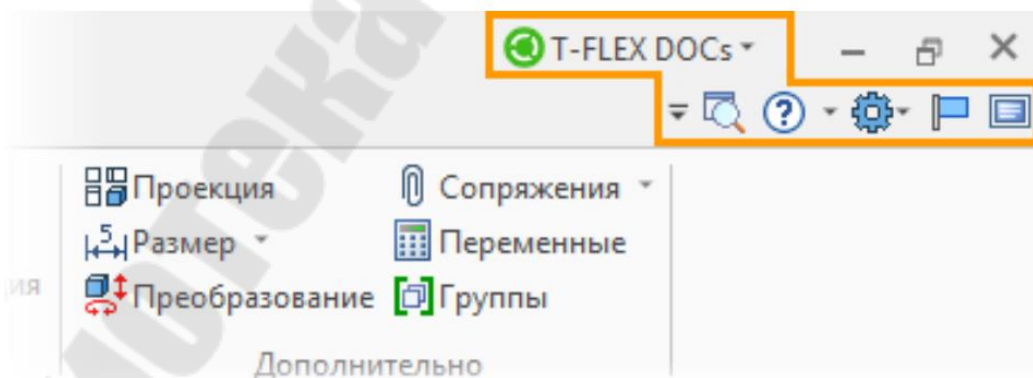


Рис. Выпадающее меню 

Выпадающее меню справки  содержит команды для вызова справочной информации о системе.

Выпадающее меню настроек  содержит команды для изменения различных установок системы.

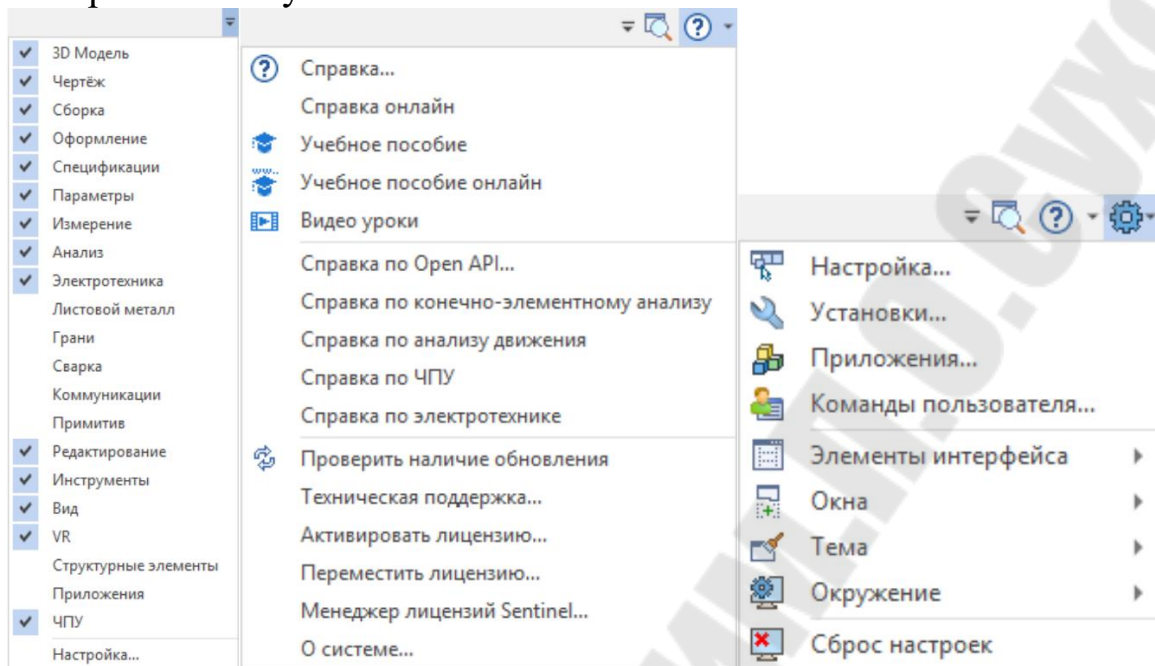


Рис. Выпадающее меню настроек 

Лента подстраивается под текущий режим работы. Например, закладки **3D Модель** и **Чертёж** меняются при переключении между 3D и 2D окнами.

Система запоминает, на какой закладке располагалась последняя выбранная команда. Если выбрать команду с закладки **Измерение** в 3D окне, а потом продолжить работу в 2D окне, то при следующей активации 3D окна будет активна закладка с последней использованной в 3D командой.

Ленту можно скрыть по двойному клику на её закладке. При этом она вновь появляется при выборе любой из её вкладок. Восстановить ленту можно повторным двойным кликом.

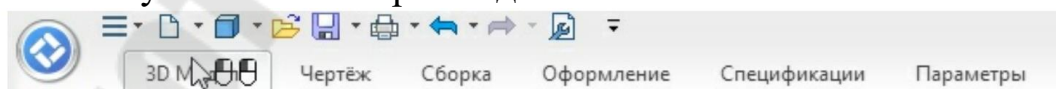


Рис. Вид экрана при выборе команды с закладки **Измерение** в 3D окне

Вкладки можно переключать с помощью колеса мыши, если навести на них курсор и вращать колесо.

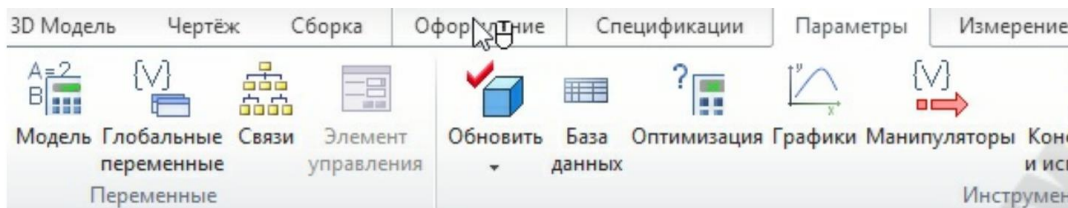


Рис. Вид экрана при переключении с помощью колеса мыши

Если несколько равноценных команд в ленте объединены в выпадающий список, то последняя выбранная команда запоминается.

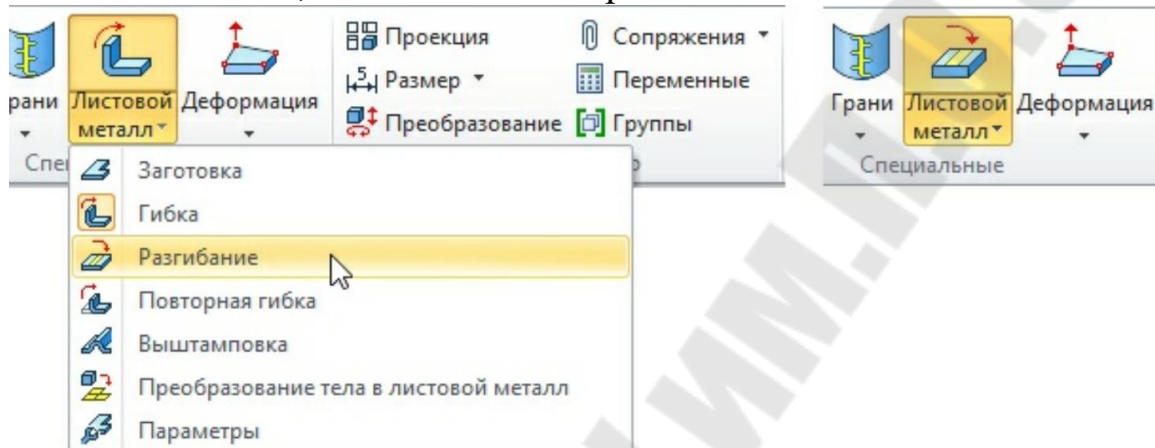


Рис. Вид экрана, отражающий выпадающий список при наведении курсора на иконку **Листовой материал**

Для персональной настройки существует возможность редактирования существующих вкладок и создания собственных вкладок с необходимыми командами и операциями.

В Ленте существует возможность свернуть/развернуть группы команд.

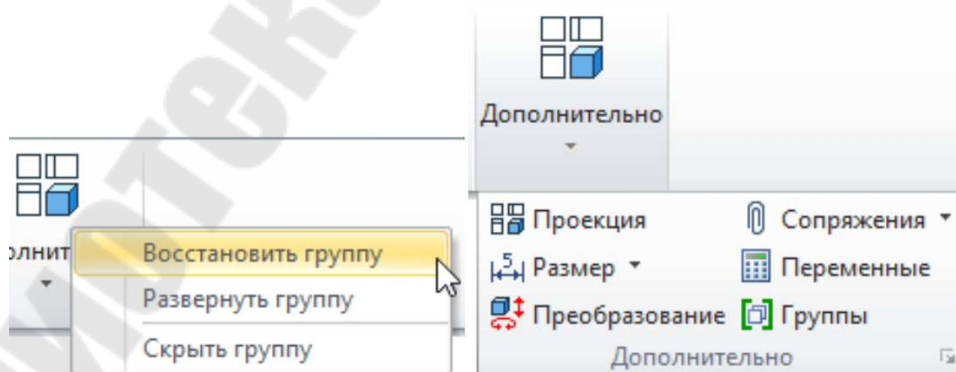


Рис. Вид экрана, отражающий возможность свернуть/развернуть группы команд

Пользователь может скрывать в Ленте группы, которые никогда не использует.

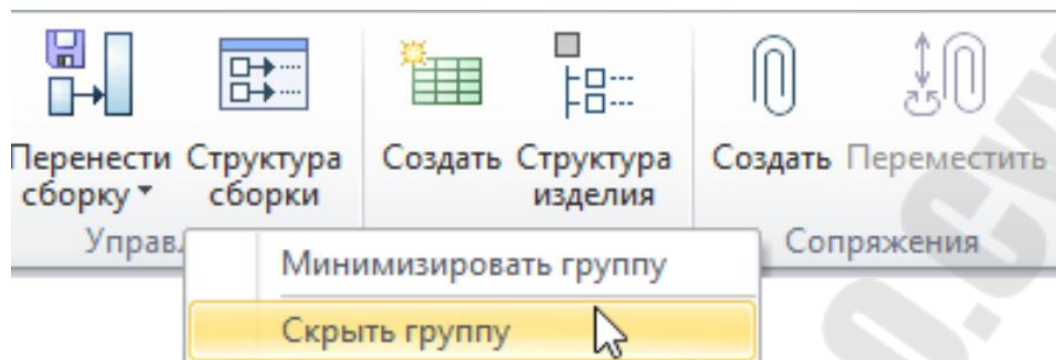


Рис. Вид экрана, отражающий возможность скрывать некоторые группы команд

Скрытые группы можно восстановить из контекстного меню, которое вызывается при клике в пустое пространство ленты.

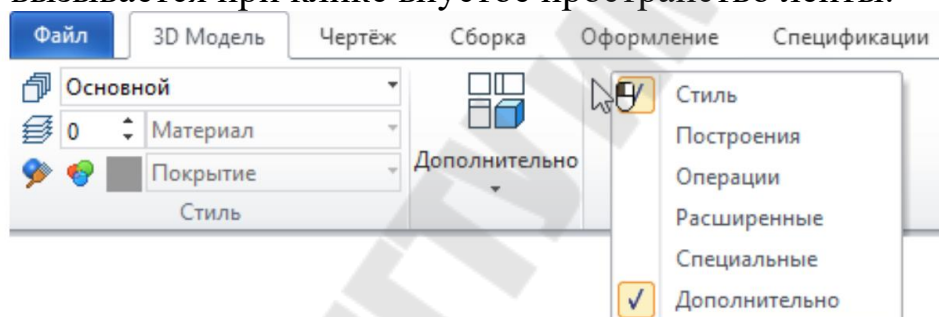


Рис. Вид экрана, отражающий возможность восстановить из контекстного меню некоторые группы команд

Для любой из кнопок на панели Лента можно вызвать контекстное меню, в котором можно настроить стиль отображения кнопки или скрыть её без входа в диалог **Настройки**

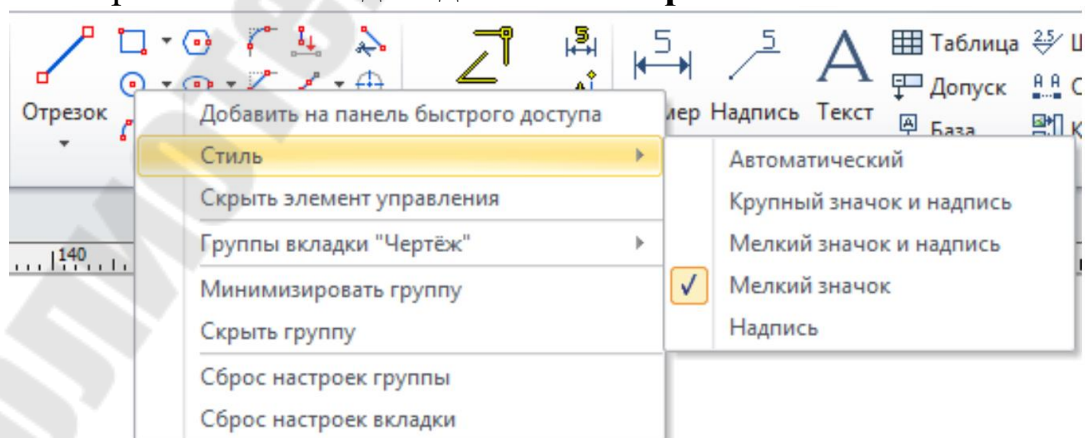


Рис. Вид экрана при вызове контекстного меню



При выборе категории **Создание** документов из прототипов можно добавить на выбранную вкладку иконку создания нового документа на основе указанного прототипа.

При наведении курсора на иконку команды появляется краткая подсказка к ней. Если задержать курсор на две секунды, то появится расширенная подсказка с иллюстрацией

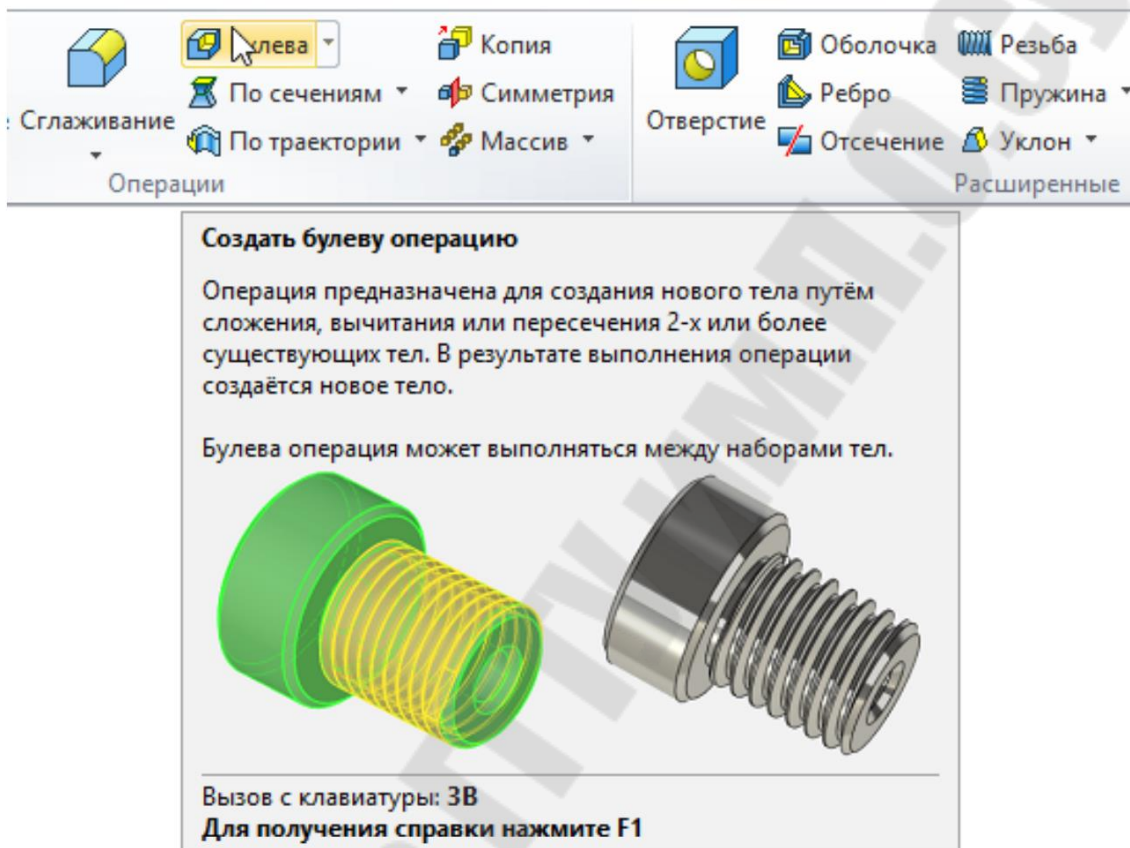


Рис. Вид экрана при задержке курсора две секунды

При необходимости можно отключить расширенные подсказки в диалоге **Настройки**

- Отображать подсказки для кнопок
- Отображать расширенные подсказки
- Включить в подсказки сочетания клавиш

Рис. Вид экрана при отключении расширенных подсказок в диалоге **Настройки**

**Текстовое** меню команд содержит текстовое меню команд T FLEX CAD, разбитое на группы.

**Главная** инструментальная панель содержит команды T CAD в виде пиктограмм. В окне системы, помимо главной панели,

может содержаться несколько инструментальных панелей (в том числе созданных пользователем). Панели могут быть плавающими или располагаться вдоль одной из границ главного окна системы.

**Системная** панель содержит поля для изменения текущих установок элементов: цвет, тип линии, уровень, слой. Также содержит кнопки для выполнения команд конфигурации слоёв, конфигурации уровней текущего документа и кнопки для установки селектора

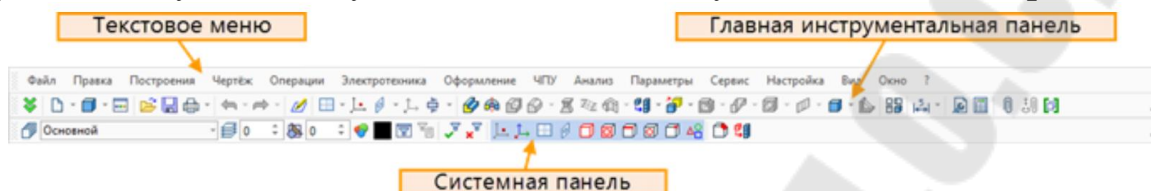


Рис. Вид Текстового меню команд Главной инструментальной панели и Системной панели

**Линейка** показывает координаты по осям X и Y текущего окна чертежа.

**Окно** текущего чертежа – окно для вывода изображения чертежа. Создание и редактирование чертежей происходит только в этом окне.

**Автоменю** – пиктографическое меню, показывает доступные опции текущей команды. Если не задана текущая команда, поле остаётся пустым.

**Статусная** строка содержит имя текущей команды, подсказку для пользователя, значения текущих координат X и Y, а также значение дополнительной координаты (в зависимости от текущей команды).

**Закладки** страниц служат для быстрого перемещения по страницам текущего многостраничного документа. Для перехода на нужную страницу необходимо выбрать её закладку. Если страница документа скрыта, соответствующая ей закладка не отображается.

**Закладки** документов служат для быстрого перемещения по открытым документам. Для перехода в окно нужного документа необходимо выбрать его закладку.

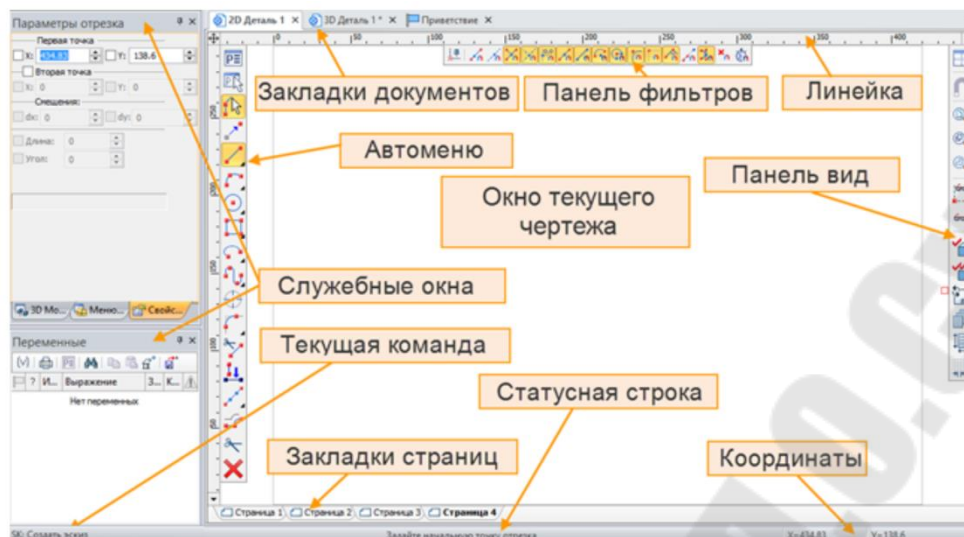


Рис. Вид Линейки Окна текущего чертежа Автоменю, Статусной строки, Закладки страниц и документов

### **Использование библиотеки**

Конфигурация библиотек является удобным средством организации работы с большими наборами документов, а также созданными библиотеками параметрических элементов, которые могут быть и использованы в качестве фрагментов.

Конфигурации библиотек хранятся в файлах с расширением . Конфигурация библиотек может состоять из библиотек или групп библиотек. Группа библиотек может включать в себя другие группы, либо библиотеки. Таким образом, конфигурации библиотек могут иметь иерархическую структуру. Библиотека содержит данные о пути до папки на диске, в которой хранятся файлы документов. Таким образом, для того, чтобы файлы документов попали в библиотеку, достаточно просто поместить их в нужную папку на диске.

Непосредственная работа с библиотеками и файлами документов, входящим в них, осуществляется в меню документов.

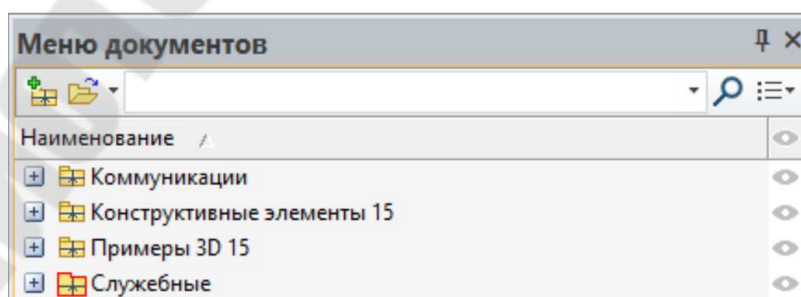


Рис. Меню документов

Меню документов представляет собой окно, в котором отображаются открытые конфигурации библиотек со всеми входящими в них файлами. Пользователю предоставляется доступ к файлам для их открытия, а также вставки фрагментов и картинок в командах «Создать фрагмент», «Создать картинку», «Создать 3D фрагмент», «Вставить внешнюю модель».

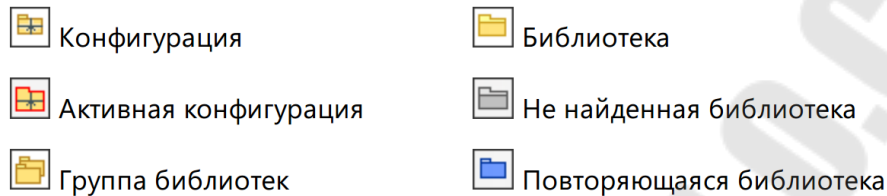



Рис. Иконки элементов меню документов

Для файлов отображается иконка, созданная в команде «Создать/Редактировать иконку».

Видимостью окна меню документов на экране можно управлять в команде  → **Окна** пункт **Меню** документов.

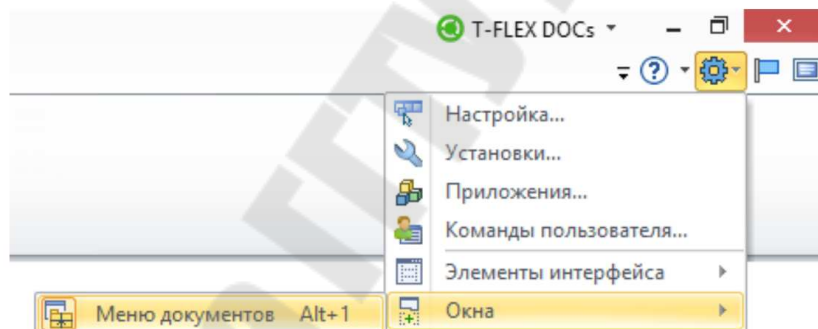


Рис. Видимость окна меню документов на экране

Существует возможность добавлять фрагменты из библиотек в **Ленту**. Для этого в команде «Настройки» на закладке **Лента** надо выбрать категорию **Вставка** фрагментов из библиотек и перетащить нужные файлы на вкладку ленты. Это позволяет создавать свои вкладки Ленты с библиотечными элементами или дополнять ими существующие вкладки.

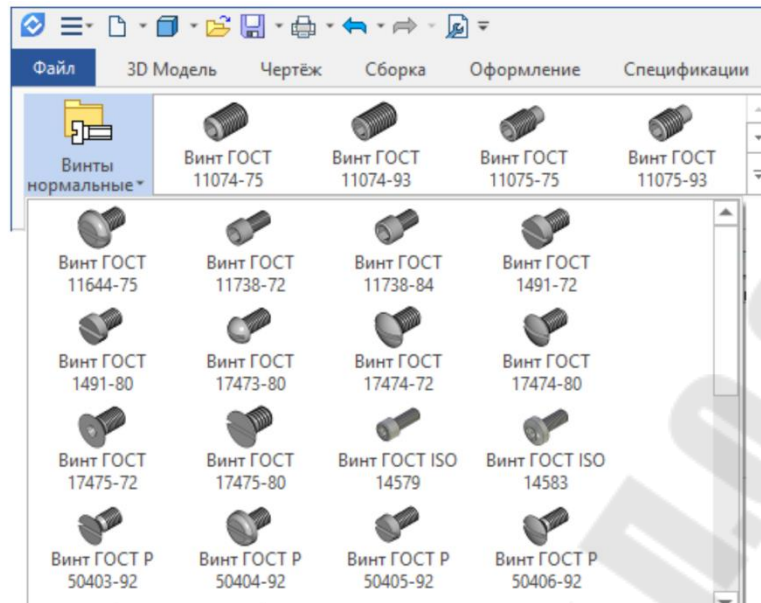


Рис. Видимость окна при создании своих вкладок Ленты с библиотечными элементами

### ***Построение параметрического каркаса чертежа***

Система TFLEX CAD использует при создании чертежа несколько типов элементов.

«Элементы построения» формируют каркас чертежа. С ними связаны элементы изображения, которые и являются тем реальным изображением, которое мы хотим в итоге получить. К элементам построения относятся линии построения и узлы. Линии построения и узлы – основные элементы, формирующие параметрическую модель чертежа. По аналогии с черчением их можно сравнить с тонкими карандашными линиями, которые затем обводятся тушью. С помощью задания различных типов линий построения и узлов устанавливается взаимосвязь элементов построения и определяется порядок расчёта их положения при параметрическом изменении чертежа. Они присутствуют только на экране и не выводятся на принтер или плоттер.

Рёберное изображение – все трёхмерные тела изображаются в виде каркаса из образующих их рёбер. Метод удобен тем, что элементы заднего плана не заслоняются передними элементами. Также можно увидеть объекты, расположенные внутри тела.

Это свойство используется при выборе элементов построения для выполнения операций.

### 3.4 Линии построения

Традиционным и мощным механизмом, лежащим в основе параметрических возможностей TFLEX CAD, являются элементы построения, и, в частности, линии построения. Они образуют «каркас» чертежа или 3Dпрофилей, используемых для формирования 3Dмоделей. Линии построения позволяют создавать параметрические чертежи и модели неограниченной сложности, при этом сохраняя модель однозначно и полностью определенной. Здесь система получила достаточно большое число новых функций. Пользователи смогут создавать ряд новых типов линий построения отношений между элементами. В частности, реализована функциональность создания окружностей, касательных к двум или трем сплайнам, а также к другим кривым сложной формы (например, кривым смещения и эллипсам).

В версии 17 улучшена наглядность и информативность процесса создания линий построения. Например, в командах создания прямых и окружностей, сразу после создания элемента, на экране остается графический элемент – отношение, позволяющее отредактировать параметр (например, смещение, угол или радиус) созданного только что элемента. При первом действии по созданию следующей линии этот элемент автоматически исчезает. При динамической пометке элементов построения его тип отношения с исходным элементом также помечается графически. Всплывающие подсказки, возникающие при наведении курсора на линии построения, также стали более информативными. Они отображают тип линии построения, ее способ создания и значение параметра, задающего геометрию линии. Кстати, содержание всплывающих подсказок стало более подробным и для других элементов чертежа, и для 3Dмодели.

#### *Новые функции по работе со сплайнами, кривыми смещения*

В версии 17 существенно доработана функциональность сплайнов. В системе реализованы абсолютно новые инструменты, позволяющие гибко управлять геометрией плоских кривых. Инструменты по созданию и редактированию сплайнов полностью унифицированы. Пользовательский интерфейс выглядит одинаково как для работы с линиями построения, так и в команде *Сплайн* в редакторе эскизов. Различия состоят в том, что в редакторе эскизов доступны опции, обеспечивающие автоматическую параметризацию чертежа.

В диалоге параметров сплайна в командах создания и редактирования теперь под рукой находятся кнопки четырех режимов рабо-

ты: *Сплайн по точкам*, *Сплайн по ломаной*, *Закрытый сплайн по точкам*, *Закрытый сплайн по ломаной*. Список точек позволяет удобно управлять геометрией сплайна, а также любым из множества параметров для каждой из его точек.

Самым важным нововведением в командах редактирования сплайнов является возможность управления формой кривой в любой точке посредством графических манипуляторов. С их помощью пользователь может задать направление касательной в любой точке, радиус кривизны кривой

Форма сплайна теперь может определяться в соответствии с выбранным пользователем способом параметризации. Это позволяет обеспечивать требуемую форму кривой, а также реализует совместимость с другими системами при работе с импортированной геометрией. Параметры *Смещение в начале* и *Смещение в конце* позволяют укорачивать сплайн, а также удлинять его в соответствии с различными правилами: по прямой, с сохранением кривизны, по дуге окружности, симметрично. Данная функциональность может быть полезной для моделирования, например, поверхностей с хорошими аэродинамическими свойствами. В последнее время подобная функция становится все более востребованной среди пользователей Т

Доработаны функции кривых смещения. Этот метод построения кривой ранее назывался «Эквидистанта». Команда и кривая переименованы, так как прежнее название не в полной мере соответствует геометрии кривой, которая может быть получена в результате выполнения данной функции. Теперь пользователь может управлять способом обработки углов при построении кривой на основе пути или сплайна с изломами. Углы могут обрабатываться в соответствии с опциями: «Скругление», «По касательным», «По кривым». Последние два способа обработки углов являются нововведением ещё в версии 16. Кривая со смещением теперь может быть построена не только с постоянным, но и с переменным значением смещения. Это позволяет решать различные сложные геометрические задачи. Значение смещения в таком случае определяется графиком, заданным пользователем. Кстати, графики в новой версии системы можно создавать не только ручным указанием точек в специализированном редакторе, но и при помощи формулы.

## **Простановка размеров, допусков формы и расположения, обозначений видов и разрезов**

Вызов команды:

Пиктограмма	Лента
	3D Модель > Дополнительно > Размер Чертёж > Оформление > Размер Сборка > Дополнительно > Размер Измерение > Измерить > Размер Листовой металл > Дополнительно > Размер Грани > Дополнительно > Размер Сварка > Дополнительно > Размер Примитивы > Дополнительно > Размер Рабочая плоскость > Оформление > Размер
Клавиатура	Текстовое меню
<b>&lt;D&gt;</b>	Чертёж > Размер

*Рис. 3.2* Последовательность действий при вызове команды простановки размеров

Команда позволяет наносить размеры и устанавливать параметры размеров.

Можно проставлять на своем чертеже размеры различных типов и стандартов. В системе FLEX CAD размеры могут привязываться:

- к линиям построения прямым (исключение составляют радиальные и диаметральные размеры, положение которых определяется положением окружности, на которой они проставлены);
- к 2D узлам;
- к линиям изображения;
- к точкам сочленения линий изображения, принадлежащих 2D проекциям или 2D фрагментам (при выборе точки в ней создается 2D узел);
- 2D черчение
- к объектам 3D модели.

Специальное приложение позволяет рассчитать отклонения замыкающего размера в размерной цепи.

Команда «Установить значения размеров» позволяет редактировать чертёж и 3D модель, изменяя номинальные значения проставленных на них размеров.



В приведенных примерах рассматривается привязка размеров к 2D узлам и линиям построения, но следует помнить, что возможен выбор и перечисленных выше элементов.

Для создания размера необходимо указать элементы чертежа для привязки.

### Создание анимации

В команде перемещения сопряжённых элементов существует возможность записи анимации.

Записанную анимацию можно сохранить в видеофайл.

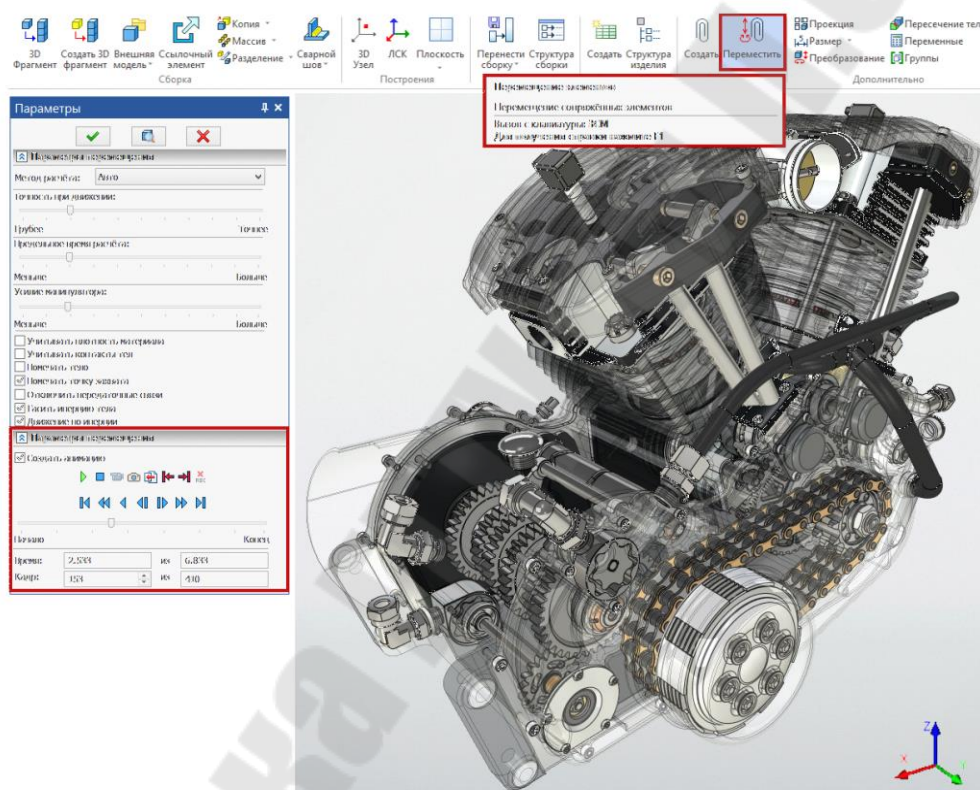


Рис. Создание анимации

## 3.7 Оптимизация чертежа

### Вызов команды Оптимизация модели

Пиктограмма	Лента
	Параметры > Инструменты > Оптимизация
Клавиатура	Текстовое меню
<PO>	Параметры > Оптимизация

Рис. 3.2 Последовательность действий при вызове команды оптимизации модели

Команда предназначена для решения задач оптимизации 2D чертежа или 3D модели. Решением задачи является подбор значений существующих переменных, наилучшим образом удовлетворяющих поставленным условиям. Вызов команды возможен только при наличии в документе численных переменных.

После вызова команды появляется окно **Задания** на оптимизацию, содержащее список сформированных задач оптимизации. В колонке **Имя** отображается имя переменной, оптимизируемое значение которой определяет задание. Колонка **Комментарий** содержит текст описания строки, вводимые пользователем. Документ TFLEX CAD может содержать любое количество заданий на оптимизацию.

Графические кнопки в нижней части окна позволяют выполнить следующие действия:

- **Добавить**. Ввод нового задания оптимизации.
- **Удалить**. Удаление задания, соответствующего текущей строке списка
- **Свойства**. Выводит окно **Задание** параметров для задания, соответствующего текущей строке списка.
- **Выполнить** Запускает расчёт оптимизации. При этом в соответствии с заданными параметрами оптимизации система производит поиск решения и пересчитывает чертёж или 3D модель в соответствии с найденными значениями переменных.
- **Выход**. Прекращает выполнение команды.

## 4 Основные принципы и понятия трехмерного моделирования в Т

### *Работа с окном 3D вида*

Окно 3D вида (3D окно) – один из основных инструментов системы для работы с 3D моделью. Оно используется для визуализации сцены. В окне осуществляется просмотр создаваемой модели, а также выбор 3D объектов для выполнения различных действий над ними (получение информации о выбранном объекте, редактирование, использование в качестве исходных данных при создании операций и построений).

сцена –совокупность всех 3 объектов (3 тел и 3 построений), имеющих в модели. Размер 3 сцены определяется кубом минимальной величины, охватывающего все элементы. При определении размеров куба учитываются и невидимые 3 объекты, скрытые с экрана различными способами.

Обзор объектов 3 сцены осуществляется с помощью камер. Камера, изображение с которой отражается в 3 окне, называется активной камерой. По умолчанию в модели присутствует только системная камера, расположенная за пределами 3 сцены. Именно она используется обычно для осмотра 3 сцены. В большинстве случаев системной камеры достаточно для работы с 3 моделью. Положением и ориентацией системной камеры можно управлять. Системную камеру нельзя удалить, нельзя переместить её внутрь 3 сцены (расстояние от камеры до центра 3 сцены нельзя сделать меньше, чем половина размера 3 сцены).

В ряде случаев (например, для осмотра внутренних областей сложных 3 моделей или при создании анимационных роликов) возможности системной камеры могут оказаться недостаточными. В таких ситуациях пользователь может создавать и использовать свои камеры для получения изображения в 3 окне. Пользовательские камеры привязываются к локальным системам координат (ЛСК). Положение ЛСК определяет положение камеры.

Визуализация объектов в окне вида может осуществляться с использованием различных методов (в виде рёберной модели, в виде твёрдых тел и т.п.). Сами 3 объекты при этом не меняются, и изменяется только способ их отображения.

Существуют следующие методы визуализации.

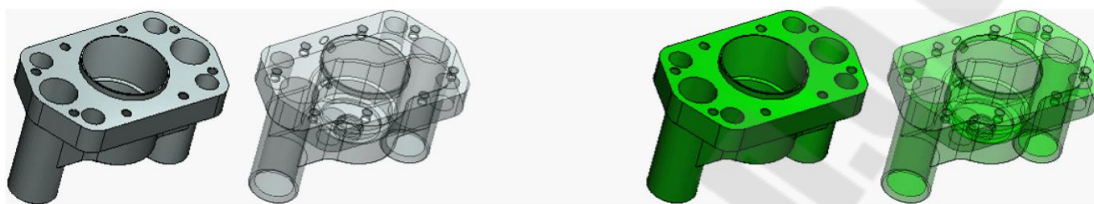
– *Рёберное* изображение – все трёхмерные тела изображаются в виде каркаса из образующих их рёбер. Метод удобен тем, что элементы заднего плана не заслоняются передними элементами. Также можно увидеть объекты, расположенные внутри тела. Это свойство и используется при выборе элементов построения для выполнения операций.

– *Тоновая* закрашка – все трёхмерные тела раскрашиваются с учетом заданного для каждого тела цвета.

– *Тоновая* закрашка с материалами – все трёхмерные тела раскрашиваются с учётом выбранного материала, как для тела в целом, так и назначенного для отдельной грани.

– *Рёберное* изображение с удалением невидимых линий в 3D окне показывается рёберное изображение 3D модели без невидимых линий. Используется быстрый алгоритм определения видимости линий.

– *Рёберное* изображение с точным удалением невидимых линий – отображается рёберная модель в текущем положении без невидимых линий. Данный режим можно использовать только при параллельном способе проецирования.



Тоновая  
закраска с  
материалами

Тоновая покраска с  
материалами и  
полупрозрачность

Тоновая  
закраска

Тоновая покраска и  
полупрозрачность

Рис. Различные методы визуализации

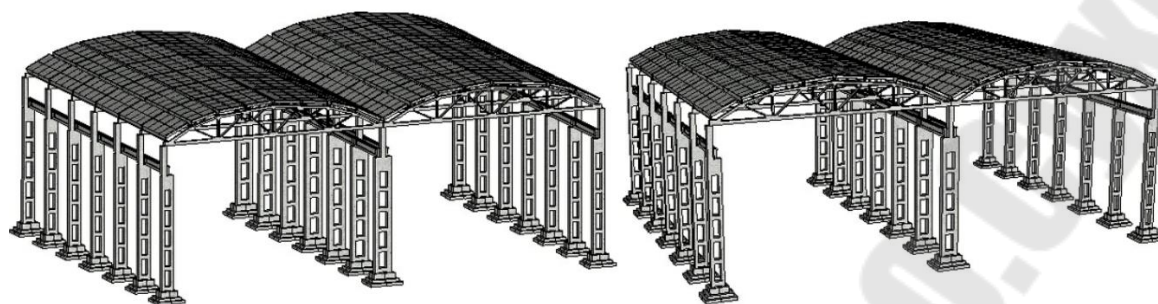
Для *тоновой* покраски и *тоновой* покраски с материалами можно дополнительно включить режим *полупрозрачного* изображения. При применении полупрозрачности 3D модель отображается с соблюдением правил основного способа визуализации, но все грани тел в 3D сцене становятся полупрозрачными.

Прозрачное изображение можно установить и отдельно для любого Тела модели. Но такое Тело будет отображаться прозрачным только при использовании режима *тоновой* покраски с материалами. Включить прозрачное отображение можно в диалоге параметров Тела. Кроме того, существует возможность делать прозрачными отдельные грани Тел. Это можно сделать с помощью команды «Наложение материала». Прозрачность граней также видна только в режиме *тоновой* покраски с материалами.

Изображение сцены в окне вида зависит, помимо установленного метода визуализации, от используемого системой камерой способа проецирования. Способ проецирования определяет, как камера будет показывать объекты в 3D сцене: без учёта расстояния до точки взгляда и угла зрения – *параллельное* проецирование, либо с учётом этих параметров – *перспективное* проецирование.

Способ проецирования, в отличие от метода визуализации, является характеристикой именно *используемой* (активной) камеры а не 3D окна. При смене используемой камеры (например, смене системы

ной камеры на пользовательскую) изображение в 3D окне будет формироваться с учётом способа проецирования новой активной камеры.



Параллельное проецирование

Перспективное проецирование


Рис. Различные способы проецирования


### ***Создание рабочих плоскостей и рабочих поверхностей***

Режим активной рабочей плоскости предназначен для нанесения 2D элементов на плоскость в трёхмерном пространстве и последующего их использования при создании 3D модели.

Выбрать рабочую плоскость в качестве активной можно в 3D окне или в дереве 3D модели. Рабочие плоскости, используемые для работы в данном режиме должны располагаться на отдельных страницах чертежа. Черчение на рабочих плоскостях, не отвечающих этому требованию, производится в окне 2D вида, а затем с помощью 3D команд создаются необходимые 3D элементы.


Перейти в режим работы на активной рабочей плоскости можно одним из следующих способов.


Укажите курсором мыши на рабочую плоскость (она подсвечивается) и нажмите . Вы можете сразу начать создание элементов, используя команды 2D черчения (при вызове первой команды включается режим активной рабочей плоскости).

Укажите курсором мыши на рабочую плоскость (она подсвечивается) и нажмите  в контекстном меню выберите пункт **Чертить** на рабочей плоскости.

3. Когда система находится в режиме ожидания команды, а курсор расположен в окне 3D вида, нажмите правую кнопку мыши. В появившемся меню выберите пункт **Чертить** на рабочей плоскости и в списке существующих в модели рабочих плоскостей укажите необходимую вам плоскость (в списке находятся только те рабочие плоскости, которые расположены на отдельных страницах чертежа). В 3D

окне подсветится прямоугольник, принадлежащий выбранной рабочей плоскости.

4. Создание рабочей плоскости на основе грани твёрдого тела. Любая плоская грань твёрдого тела может определять положение в пространстве рабочей плоскости. Для создания рабочей плоскости на основе грани тела укажите на неё курсором мыши (выбранная грань подсветится) и нажмите . В появившемся меню выберите пункт **Чертить** на грани. При этом система создаст рабочую плоскость на основе соответствующей грани и отдельную страницу чертежа, куда будут наноситься все элементы, принадлежащие ей (созданная рабочая плоскость становится активной).

5. Активизация рабочей плоскости на основе грани тела. Укажите курсором мыши на грань тела (выбранная грань подсветится) и нажмите . В появившемся меню выберите пункт **Чертить** на рабочей плоскости. В списке рабочих плоскостей, созданных на основе текущей грани, выберите необходимую вам плоскость.

Параметр **Разворачивать** рабочую плоскость при активизации команды «Установки» (закладка задаёт вращение 3D сцены в положение, соответствующее виду активной рабочей плоскости. При выходе из режима активной рабочей плоскости сцена возвращается в прежнее положение.

При входе в режим черчения на активной рабочей плоскости 3D сцена разворачивается таким образом, чтобы выбранная рабочая плоскость оказалась перпендикулярна направлению взгляда. Затем любое перемещение/вращение 3D сцены блокируется. Главная панель CAD (если она не зафиксирована) перейдёт в режим Рабочая плоскость. В текстовом меню становятся доступны команды 2D черчения.

В режиме активной рабочей плоскости на главной панели становятся доступными иконки:



—завершить черчение на активной рабочей плоскости;



—спроецировать элементы на рабочую плоскость




—совместить плоскость обрезки с активной рабочей плоскостью






—открыть 2D окно с активной рабочей плоскостью

 –вращение 3D сцены/выбор 3D элементов

 –повернуть активную рабочую плоскость перпендикулярно направлению взгляда

 Отменить –отменить черчение на рабочей плоскости

При выборе опции  в автоменю появятся пиктограммы, позволяющие выбрать 3D элементы модели (операции, грани, рёбра), к которым вы хотите спроецировать на активную рабочую плоскость. По окончании выбора необходимо подтвердить создание проекций при помощи опции 

Пиктограмма  предназначена для создания 2 узла –проекции 3 точки. После выбора данной опции необходимо указать 3 точку в 3 окне. Создание 2 узлов проекций 3 точек экономит вычислительные ресурсы компьютера, когда нет необходимости строить обычную проекцию.

Работая в режиме активной рабочей плоскости, вы можете и использовать любые команды построения и создания 2 элементов. Если рабочая плоскость была создана на основе гранитела, то ей будут принадлежать линии изображения, являющиеся проекцией грани на данную рабочую плоскость. Работая в командах 2 черчения, вы можете привязывать элементы построения и изображения к линиям проекции и к точкам их сочленения.

В наборах Рабочая плоскость и Рабочая плоскость (эскиз) главной панели доступен элемент управления со списком профилей, построенных по линиям изображения данной плоскости. Если выбрать в этом списке один из профилей, на экране автоматически крупнопоказываются формирующие его линии изображения, и для вновь создаваемых линий устанавливается цвет выбранного профиля.

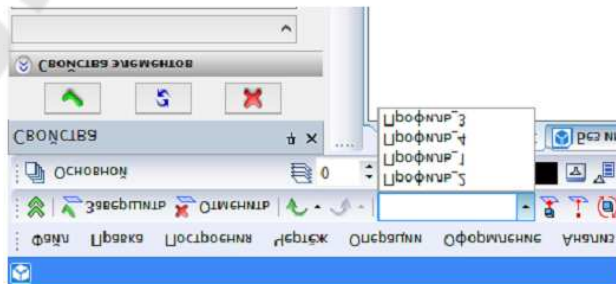



Рис. Иллюстрация выбора в наборах Рабочая плоскость главной панели элемента управления со списком 3 профилей.

При необходимости использования элементов воспользуйтесь пиктограммой , которая позволяет вращать 3D сцену или выбирать существующие элементы 3D модели. Также выбор 3D элементов возможен при нажатой клавише

При завершении работы на активной рабочей плоскости система автоматически создаёт «3D профиль», используя следующие элементы:

- контур штриховки;
- линии изображения, созданные командами «Эскиза» и «Изображение»;
- текст формата

Если на рабочей плоскости будут обнаружены линии изображения разного цвета, система при выходе из режима черчения на плоскости предложит пользователю создать несколько 3D профилей – по числу использованных цветов. В каждый из созданных профилей войдут линии одного определённого цвета.

Работая в режиме активной рабочей плоскости вы можете вызывать команды создания 3D операций. При этом система завершит черчение на рабочей плоскости и, если в операции необходим выбор 3D профиля, подсветит созданный на ней профиль **автоматически**

### ***Использование 3D узлов и 3D профилей для создания трехмерной модели***

Для создания 3D узла используется команда 3D узел:

Пиктограмма	Лента
	3D Модель > Построения > 3D узел
Клавиатура	Текстовое меню
<b>&lt;3N&gt;</b>	Построения > 3D узел

*Рис. 4.* Последовательность действий при вызове команды построения 3D узла

3D узел – это элемент TFLEX CAD, обозначающий точку в трёхмерном пространстве. Основное применение 3D узлы находят в качестве точек для привязки других трёхмерных объектов: дополнительных рабочих плоскостей, профилей, локальных систем координат и т.д. С помощью 3D узлов можно задавать объекты, необходимые



для выполнения операций, например, вектор выталкивания, ось вращения.

Размер 3D узлов при отображении их в 3D сцене устанавливается в команде **Задать параметры документа > 3D > Вид > Размер > 3D узел**



Данная команда предполагает следующие способы создания 3D узлов:

- В координатах
- На пути
- На поверхности
- В центре масс
- По наименьшему расстоянию
- На пересечении элементов
- На пересечении трёх плоскостей
- По граням и смещениям
- По двум проекциям

В общем случае процесс создания 3D узла любым вышеупомянутым способом включает все следующие шаги:

– Выбор способа создания 3D узла. Каждому способу соответствует отдельная опция в меню либо на закладке Тип в окне параметров команды.

– Указание исходных объектов и задание требуемых параметров.

– Подтверждение операции создания с помощью  в меню или в окне параметров команды. Также подтверждение команды осуществляется двойным кликом  в свободном месте 3D сцены.

Если сразу после запуска команды выбрать тот или иной объект модели, то система автоматически подберёт способ создания 3D узла в соответствии со следующими правилами:

– При выборе 2D узлов активируется способ **По двум проекциям**

– При выборе 3D узлов, вершин, ЛСК – способ **В координатах**

– При выборе рёбер, 3D путей, 3D профилей – способ **На пути**

– При выборе граней, рабочих плоскостей, поверхностей – способ **На поверхности**

– При выборе твёрдых тел – способ **В центре масс**

Переход от любого способа создания 3D узла к способу **В координатах** позволяет пересчитать создаваемый 3D узел в абсолютные координаты.

### ***Создание локальных систем координат (ЛСК)***

Приведенное ниже описание является ключевым для создания параметрических чертежей в системе TFLEX CAD и создания собственных библиотек параметрических элементов.

В системе TFLEX CAD можно создавать параметрические чертежи. Любой чертеж системы может быть вставлен в другой чертеж. Вставляемый чертеж называется фрагментом.

В системе TFLEX CAD существует два способа создания **локальных систем координат** чертежа.

Первый способ – задание вектора привязки. При этом способе вам необходимо построить чертеж, а затем задать вектор привязки. Векторов привязки может быть несколько.

Любой чертеж системы TFLEX CAD помимо геометрических параметров может иметь несколько векторов привязки.

**Вектор** привязки определяет положительно направление оси локальной системы координат чертежа. Вектор привязки используется для привязки чертежа, когда вы вставляете его в другой чертеж в качестве фрагмента. Векторов привязки может быть неограниченное количество. Вектор привязки определяет способ привязки чертежа и ориентацию чертежа при вставке его на другой чертеж в качестве фрагмента.

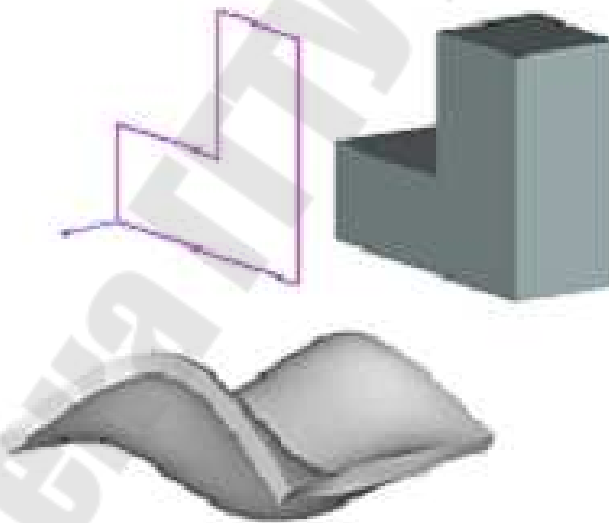
**Коннектор** – это элемент построения, предназначенный для привязки к нему других элементов. Он служит для привязки к нему других элементов модели. Кроме геометрического положения (положения начала системы координат и направления осей) коннектор может хранить и другую (размерную или неразмерную) информацию, необходимую для «подключения» к нему других элементов. Эта информация хранится в виде именованных значений, которые могут быть как константами, так и переменными. Имена этих значений используются для задания значений соответствующих внешних переменных подключаемых к ним фрагментов.

Второй способ – задание точек привязки с помощью переменных. При этом способе чертеж строится по определенным правилам. Вертикальным и горизонтальным линиям в качестве параметров задаются зарезервированные имена переменных. В дальнейшем система CAD определяет точку пересечения таких линий как точку привязки фрагмента. Точек привязки может быть несколько.

### ***Команды формообразования трехмерной модели***

В данном разделе перечислены команды формообразования трехмерной модели системы TFLEX CAD и дано их краткое описание. Для выполнения базовых операций необходимо наличие вспомогательных 3D-элементов, на основе которых создается твердое тело. Другая группа операций использует уже существующие твердые тела для получения более точной геометрии. Соответствующие команды перечислены в разделе «Операции над твердыми телами».

«Операция выталкивания» результатом выполнения данной операции является тело, образующееся при поступательном перемещении контура вдоль указанного направления. При помощи данной операции можно получать как твердые, так и листовые тела. Выталкивание можно производить не только по вектору выталкивания, но и по нормали к поверхности контура в одну или в обе стороны. Таким образом можно придать толщину любой грани, в том числе и неплоской. Выталкивание контура также может производиться от грани до грани, от поверхности до поверхности, через весь объем выбранного тела.



*Рис.* Иллюстрация к операции выталкивания

Операция вращения позволяет получить трехмерное тело вращением контура вокруг заданной оси на заданный угол. Плоскость профиля может располагаться произвольным образом относительно оси. Исходный контур может располагаться произвольным образом относительно оси, но он не должен пересекать ось вращения. При помощи данной операции можно получать как твердые, так и листовые тела.

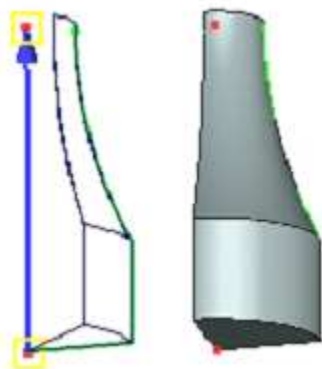


Рис. Иллюстрация к операции вращения

*Операция По сечениям* предназначена для создания новых тел со сложной геометрией. Сплайновые результирующие поверхности формируются на основе заданных в одном или двух направлениях элементов каркаса, с учётом выбранных граничных условий. В качестве основы могут служить практически любые элементы модели, несущие в себе геометрию одного из трёх типов: точка, проволока, лист. В зависимости от типа геометрии исходных элементов результат может быть получен как в виде твёрдого тела, так и в виде набора поверхностей.

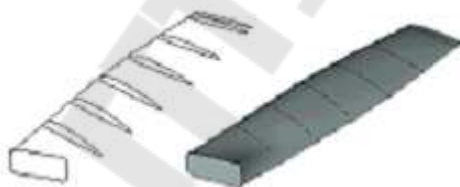


Рис. Иллюстрация к операции по сечениям

*Операция По траектории* позволяет создавать тела, поверхность которых образуется в результате перемещения профиля произвольной формы вдоль пространственной кривой. При движении профиля по траектории можно управлять его кручением относительно осей траектории и масштабированием.



Рис. Иллюстрация к операции по траектории

*Операция По параметрам* служит для расширения возможностей операции По траектории. Исходный профиль задаётся таким образом, что при изменении одной переменной может меняться его положение и геометрия. Указывается диапазон изменения значений управляющей переменной. Тело получается после изменения геометрической формы и положения профиля в результате пересчёта по всему диапазону значений переменной.

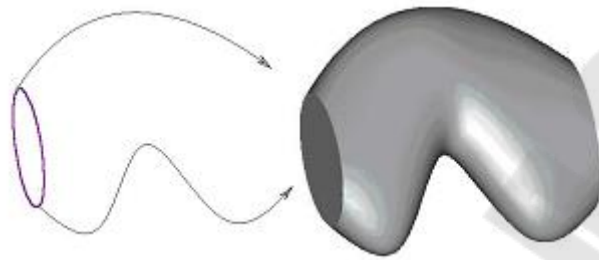


Рис. Иллюстрация к операции по параметрам

*Операция создания отверстия* позволяет создавать стандартные отверстия. Работает вместе с специальной параметрической библиотекой отверстий, согласованной с современными стандартами. Команда позволяет одновременно создавать наборы отверстий и отверстия в нескольких телах, а также резьбовые отверстия. При создании резьбового отверстия на новой грани показывается косметическая резьба.

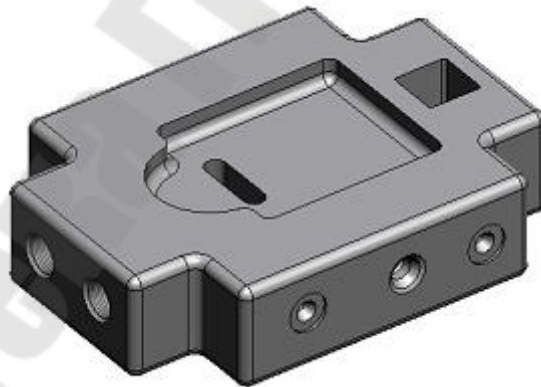


Рис. Иллюстрация к операции создания отверстия

*Операция создания спирали* позволяет получить трехмерное тело типа спираль путем перемещения профиля произвольной формы по винтовой кривой. Профиль может быть ориентирован ортогонально оси спирали, либо ортогонально винтовой кривой.



Рис. Иллюстрация к операции создания спирали

*Операция создания пружины* позволяет получить трехмерное тело типа пружина путем перемещения профиля окружности вдоль винтовой кривой. При этом существует возможность задания сжатия и шлифовки на концах.



Рис. Иллюстрация к операции создания пружины

*Операция создания трубопровода* позволяет получить трехмерное тело путем перемещения контура по «3D Пути».



Рис. Иллюстрация к операции создания трубопровода

*Ребро жесткости* – операция, позволяющая создавать ребра жесткости твердого тела на основе одного или нескольких 3D профилей. Результатом выполнения операции является твердое тело, полученное булевой операцией объединения созданного ребра жесткости с исходным телом.

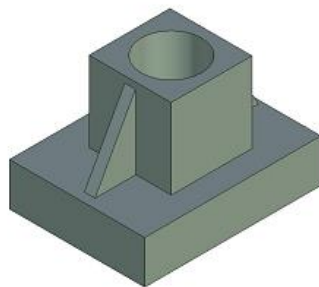


Рис. Иллюстрация к операции ребро жесткости

## 5 Трёхмерное моделирование технологической оснастки. Анализ геометрии

### *Методика проектирования трёхмерной модели сборки*

Каждый документ системы, содержащий трёхмерную модель, может быть вставлен в другую трёхмерную модель в качестве детали. Собранный таким образом модель называется сборочной. Также в сборке можно использовать внешние модели, импортированные из других систем в соответствующем формате.

Использование компонентов при сборке в системе дает определенные преимущества. Например, можно создавать библиотеки параметрических элементов и использовать их при создании сборочной модели.

В сборочном документе хранятся связи с файлом фрагмента. При изменении файла фрагмента происходит автоматическое их обновление и, соответственно, меняется компонент сборочной модели. Каждый фрагмент может иметь внешние переменные, которые управляют параметрическими связями детали. В любой момент можно изменить сам файл детали – фрагмента, либо задать другие значения внешних переменных фрагмента. Во втором случае файл фрагмента не изменяется, а компонент сборки пересчитывается в соответствии со значениями внешних переменных. Для хранения и быстрой загрузки вариантов параметрически изменяемой сборочной модели существует возможность сохранения комбинации значений переменных сборки.

Для каждого фрагмента в своем файле можно заполнить данные для спецификации. В этом случае после создания сборочной модели можно автоматически получить спецификацию.

По сборочной модели, можно получить чертежи, спроецировав необходимые виды, разрезы, сечения, затем проставить требуемые размеры и элементы оформления.

Существует другой подход к созданию сборочных моделей, отличный от классического метода, кратко описанного выше. Этот подход позволяет создавать новые детали, опираясь на любые геометрические или топологические элементы сборочного документа. При этом отпадает надобность задавать привязки и взаимное расположение деталей. Деталь привязывается автоматически к тем элементам, на основе которых была создана. Сохраняется параметрическая зависимость между элементами сборки. Если размеры или положение о

ной из деталей изменяются, то все связанные с ней элементы сборки ч-ной модели будут также автоматически скорректированы.

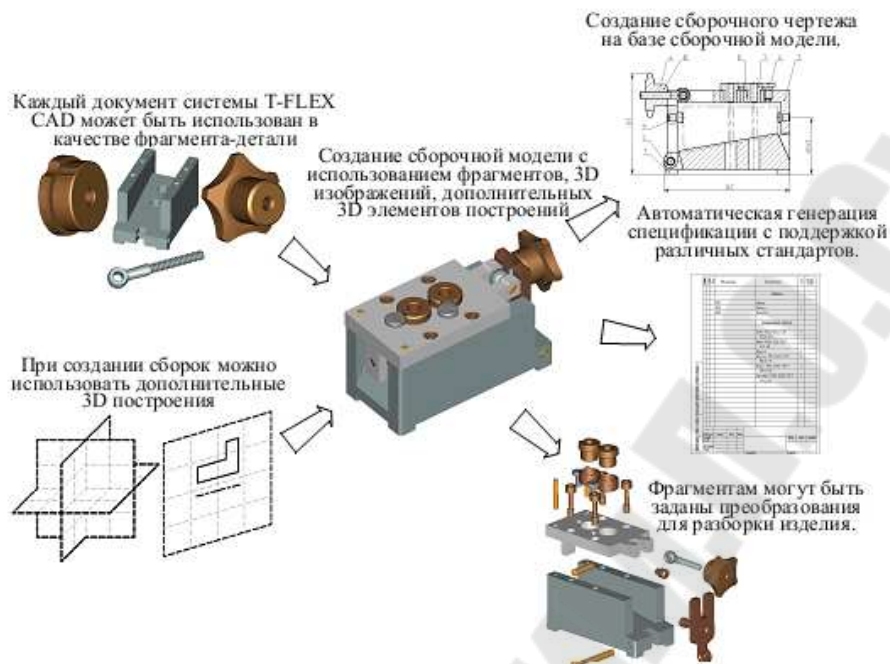


Рис. Иллюстрация преимуществ использования компонентов при сборке в системе

При работе с деталью в контексте сборки все необходимые элементы сборки показываются прозрачными. Сохраняется объектная привязка ко всем элементам сборки. В любой момент любой элемент сборки может быть востребован.

Деталь сохраняется в отдельном файле. Файл может быть открыт вне сборочной модели и доработан отдельно. Связь с сборкой при этом сохраняется.

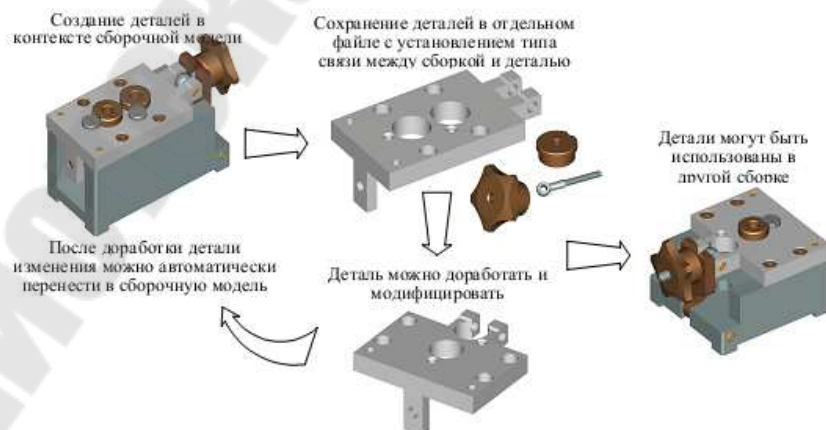


Рис. Иллюстрация процесса создания новых деталей на базе любых геометрических и топологических элементов сборочного документа



### Адаптивные 3D фрагменты

Адаптивным фрагментом в Т называется фрагмент, внешними параметрами которого являются не только внешние переменные, но и геометрические элементы. В качестве геометрического параметра могут использоваться любые элементы модели (твёрдое тело, 3D узел, 3D путь, 3D профиль, рабочая плоскость, ЛСК, вершина, ребро, грань, цикл). Суть механизма состоит в том, что при регенерации конкретного экземпляра адаптивного 3D фрагмента в структуре его модели вместо исходной геометрии внешнего параметра используется подставленная геометрия элемента сборки. Таким образом, 3D фрагмент как бы «адаптируется» к объектам сборочной модели. Например, на основе адаптивных 3D фрагментов выполняются специализированные операции вставки отверстия и создания выштамповки в соответствующих командах системы.

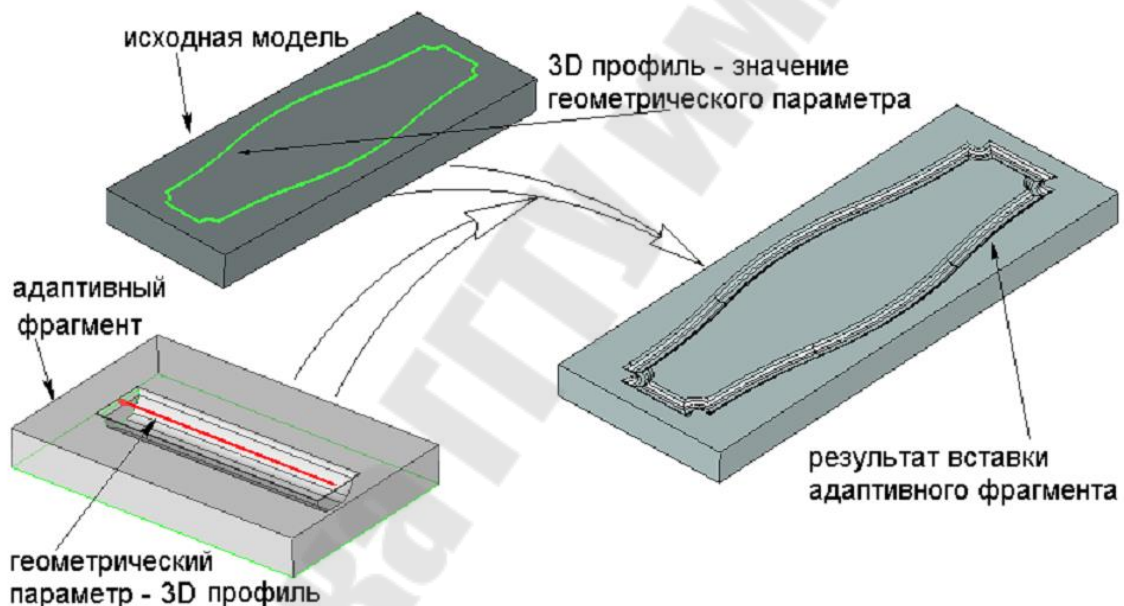


Рис. Иллюстрация с ути механизма использования адаптивного 3D фрагмента в структуре его модели вместо исходной геометрии внешнего параметра

Для использования 3D фрагмента как адаптивного элемента модели необходимо заранее определить набор геометрических параметров, которые могут быть связаны с объектами сборочной модели. Как и набор внешних переменных, набор геометрических параметров задается в документе 3D фрагмента. Система допускает задание геометрических параметров и их значений непосредственно при вставке или при редактировании фрагмента, но в этом случае созданные

связи будут использоваться только в текущей сборочной модели. В этом случае в документе 3D фрагмента эта информация не сохраняется. При вставке адаптивного 3D фрагмента пользователь указывает значения геометрических параметров. Тип объекта значения должен совпадать с типом объекта, который является параметром 3D фрагмента. Например, значение для 3D профиля может задаваться только 3D профилем.

Использование геометрических параметров 3D фрагмента можно совмещать с использованием внешних переменных и системами координат привязки. Однако при этом следует учитывать специфику подстановки объекта значения, так как подстановка влияет на геометрию адаптивного параметра, и на его положение в сборочной модели. Известно, что положение фрагмента в сборке определяется исходной и целевой системами координат. Эти системы координат могут быть заданы при помощи ЛСК, или использовать глобальные системы координат модели 3D фрагмента и сборки.

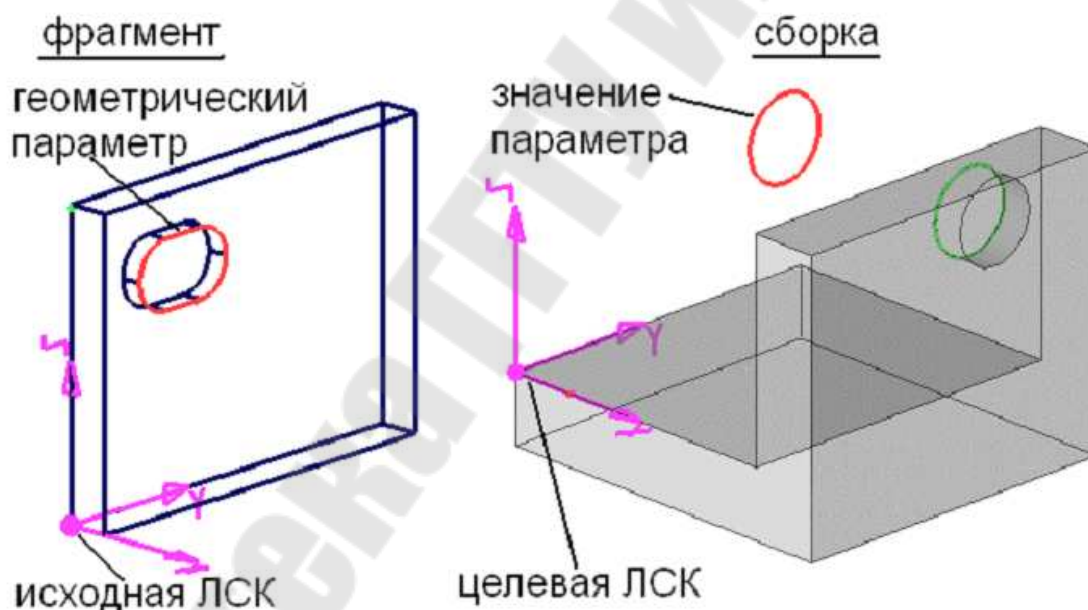
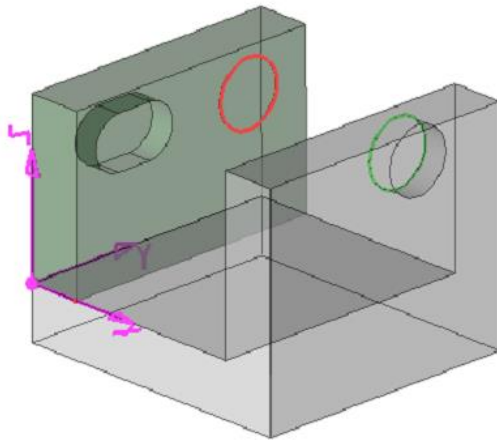
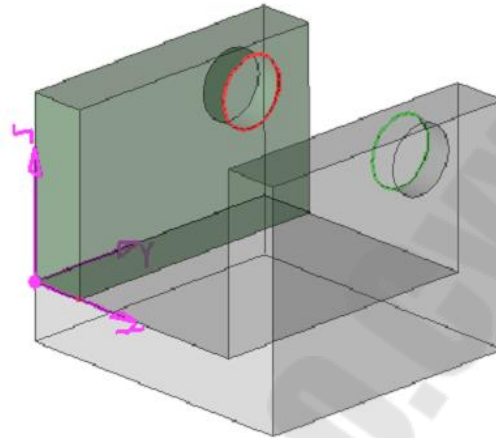


Рис. Иллюстрация вставки адаптивного 3D фрагмента

Для выполнения подстановки значения геометрического параметра система выполняет «обратное» преобразование – переносит объект из сборки в модель 3D фрагмента в направлении от целевой ЛСК сборки к исходной ЛСК 3D фрагмента.



вид 3D фрагмента до указания значения геометрического параметра



вид 3D фрагмента после указания значения геометрического параметра

Рис. Иллюстрация выполнения подстановки значения геометрического параметра

После выполнения подстановки значений адаптивный 3D фрагмент пересчитывается и включается в сборочную модель. Пользователь должен обеспечить правильное положение объектов значений, чтобы они после подстановки в модель 3D фрагмента имели положение, обеспечивающее выполнение своего предназначения

На рисунке 3D профиль значения подставляется на место исходного профиля, который вырезает отверстие в плите 3D фрагмента. Предполагается, что новый профиль значения обеспечит создание массива отверстий в плите 3D фрагмента. Рассмотрим два варианта: в первом случае профиль значения после подстановки в модель 3D фрагмента может вырезать отверстия, а во втором случае – нет.

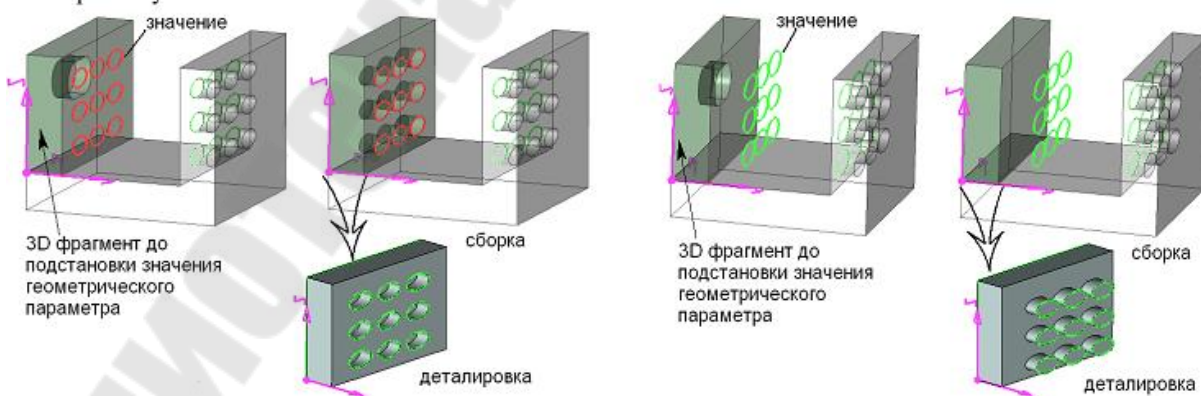


Рис. Иллюстрация подстановки 3D профиль значения на место исходного профиля

Рассмотрим подробнее, что происходит с моделью фрагмента во втором случае. Поскольку в этом случае используется другой

профиль значение с другим положением относительно целевой ЛСК, то отличие заключается в конечном положении профиля в модели 3D фрагмента. Детализировка наглядно показывает, что во втором случае выталкивание массива профилей не обеспечивает создание отверстий (чтобы это показать второй операнд булевой операции вычитания был оставлен в сцене), поэтому в сборку плиты 3D фрагмента подставляются без отверстий.

Если при вставке адаптивного 3D фрагмента необходимо и использовать исходную систему координат, то следует обратить внимание на то, что она должна быть создана на основе элементов модели фрагмента (3D узлы, рёбра, вершины), независящих от внешних геометрических параметров. Т.е. родители исходной системы координат не должны изменяться при указании значений адаптивных элементов

Для того чтобы 3D модель можно было использовать в качестве адаптивного 3D фрагмента, необходимо задать набор объектов адаптивных элементов), геометрия которых будет определяться объектами сборки.

Для задания списка геометрических параметров используется команда «3U: Задать геометрические параметры адаптивного фрагмента» Вызов команды:

Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<3U>	«Сервис Адаптивный фрагмент»	

Рис. 5. Последовательность действий при вызове команды 3U: Задать геометрические параметры адаптивного фрагмента

После вызова команды в окне свойств можно заполнить поле «Имя» (необязательный параметр). Введённая строка будет являться именем фрагмента в модели. По умолчанию, если имя не задано, в модели создаётся «Деталь\_№». Поле «Комментарий» может содержать текст, поясняющий способ использования данного 3D фрагмента.

Если в документе фрагмента задано изображение слайда, то этот слайд будет отображаться как иконка фрагмента в дереве модели сборочного документа. Для создания иконки используется команда «Сервис | Специальные данные | Просмотр»

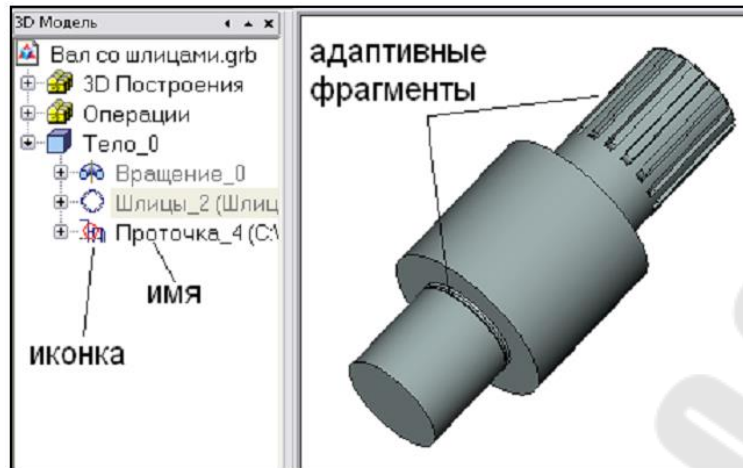


Рис. Иллюстрация процесса создания иконки

Для добавления нового объекта в список адаптивных элементов необходимо выбрать его в окне 3D вида или в дереве модели. Выбранный элемент отображается в верхнем списке «Объекты модели» в окне свойств. При выборе объекта система автоматически добавляет в список те его топологические элементы (рёбра, вершины, грани), которые используются потомками этого объекта.

Список «Объекты модели» обеспечивает наглядное отображение взаимосвязей выбранного объекта с его потомками и возможность выбора в качестве геометрических параметров элементов, принадлежащих верхнему уровню модели.

При создании или редактировании фрагмента в контексте сборки (проектирование методом «Сверху вниз») список «Объекты модели» формируется автоматически. Система создаёт этот список на основе тех объектов, которые использовали модельные элементы сборки (3D профили, рабочие плоскости, 3D узлы и т.д.). Если 3D фрагмент планируется включать в другие сборочные модели, то пользователь может оформить список внешних геометрических параметров, используя уже подготовленный список «Объекты модели».

Для примера формирования списка внешних геометрических параметров, рассмотрим 3D фрагмент, который обеспечивает создание элемента выштамповки. Для создания канавки в сборке достаточно будет указать грань тела, в котором будет вырезаться канавка и траекторию, определяющую её контур. Первым элементом в списке «Объекты модели» будет 3D профиль, на основе которого создаётся тело по траектории. Вторым элементом списка назначим «Вытачивание\_0». При этом система добавляет в список грань этой операции,

т.к. грань является родительским элементом для операции «По траектории\_1»

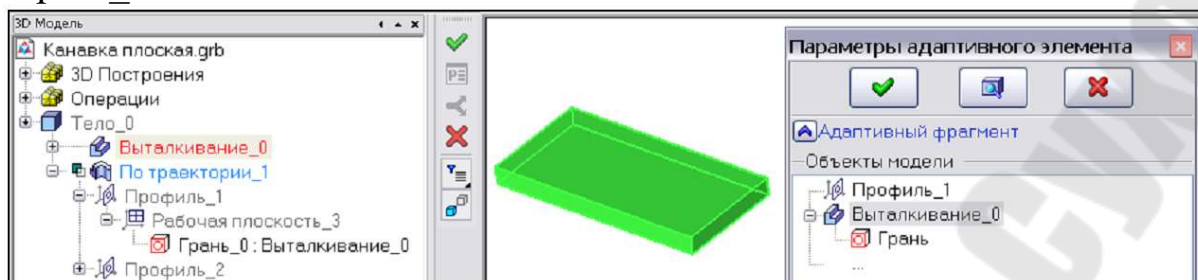


Рис. Иллюстрация процесса выполнения операции «По траектории\_1»

Набор допустимых для выбора типов объектов определяется с помощью опции:

	<V>	Выбрать элемент для задания внешнего параметра
--	-----	--

Рис. 5. Запуск опции выбора типов объектов

Выпадающий список позволяет настроить внутренние фильтры команды на выбор объектов определённого типа: рабочая плоскость, рабочая поверхность, система координат, операция, 3D путь, 3D узел, профиль

По умолчанию в меню активна опция:

	<M>	Показать элемент на уровне его создания
--	-----	---

Рис. 5. Запуск опции показа элемента на уровне его создания

Она обеспечивает подсветку объектов, не принадлежащих верхнему уровню дерева модели. Например, если данная опция активна, то при выборе в списке объектов грани операции «Выталкивание\_0» эта грань будет подсвечена в модели (при этом все потомуки «Выталкивания\_0» временно выгружаются из сцены).

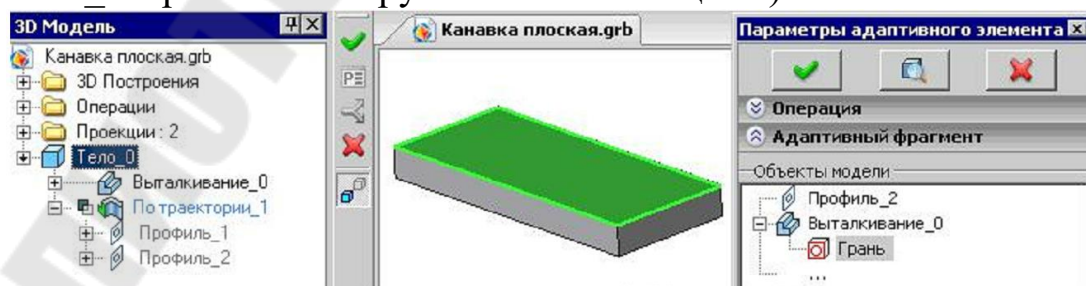


Рис. Иллюстрация процесса подсветки грани

Если опция не активна, то подсветка будет появляться только, если текущим элементом списка является операция верхнего уровня. Таким образом, в данном примере Выталкивание\_0 и его грань в модели не помечаются.



Рис. Иллюстрация процесса выполнения операции «Выталкивание\_0»

Следующим необходимым действием является формирование списка **Внешние** параметры. В этот список переносятся те элементы из списка «**Объекты модели**», для которых будут задаваться значения при вставке 3D фрагмента в сборочную модель.

Рекомендуется переносить в список внешних параметров все топологические потомки объекта модели, которые были занесены в верхний список, и задавать для них значение в сборке.

Предположим, что у адаптивного 3D фрагмента в списке внешних параметров присутствуют не все топологические потомки выбранного объекта модели или при вставке этого фрагмента в сборку для некоторых из них не заданы значения. В этом случае при выполнении регенерации модели 3D фрагмента (которая выполняется при вставке его в сборку) возникнут ошибки при создании тех операций (или иных объектов), которые должны быть созданы на основе топологических элементов, не имеющих значения.

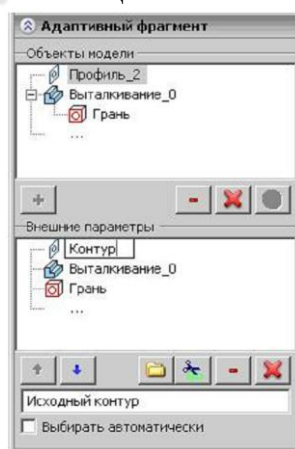



Рис. Иллюстрация процесса выбора адаптивного фрагмента

Чтобы избежать наличия в списке геометрических параметров большого количества ненужных зависимых элементов, желательно формировать модель 3D фрагмента таким образом, чтобы объекты модели, используемые в качестве геометрических параметров, располагались по возможности на как можно более высоком уровне в структуре дерева модели. Для переноса выберите элемент в верхнем списке и нажмите графическую кнопку . Для каждого элемента в списке внешних параметров можно задать комментарий. Эта строка будет появляться в виде подсказки в окне свойств при выборе значения параметра в команде «Создать фрагмент». При необходимости внешний параметр можно переименовать, изменив имя, присвоенное по умолчанию и совпадающее с именем объекта модели. При выборе в списке внешних параметров какого-либо элемента в списке объектов модели автоматически помечается соответствующий элемент модели. Таким образом, после переименования легко определить объект модели, на основе которого был создан внешний параметр.

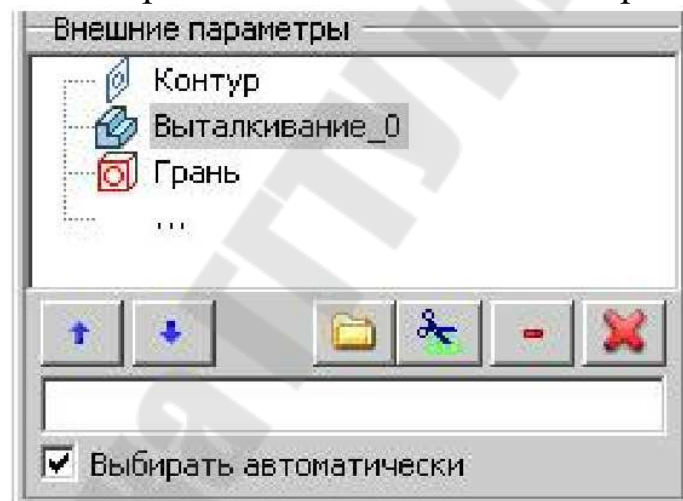


Рис. Иллюстрация процесса выбора внешнего параметра

Флаг **Выбирать** автоматически может использоваться для объектов, потомки которых также являются внешними параметрами. Например, в рассматриваемом примере «Выбирать автоматически» имеет смысл установить для Выталкивания\_0, чтобы сократить количество выбираемых значений.

### ***Редактирование и преобразование 3D элементов***

Аналогично 2D элементам, каждый из 3D элементов имеет определенный набор параметров. Некоторые из этих параметров являются общими для всех объектов системы, независимо от размерности



сти, некоторые – только для 3D элементов, а некоторые присущи только конкретным типам объектов.

Диалоги параметров всех 3D операций содержат одинаковую закладку **Общие**. Набор параметров данной закладки включает в себя неспецифические параметры конкретной операции и параметры визуализации Тела, в формировании которого участвует данная операция. Параметры визуализации 3D изображения (уровень, слой, материал, качество изображения) задаются для Тела в целом. Поэтому значения параметров визуализации закладки **Общие** будет одинаковым для всех операций, входящих в историю создания данного Тела. При просмотре свойств самого Тела (команда **Свойства** в контекстном меню дерева 3D модели) отображается диалог параметров последней операции в истории данного Тела.

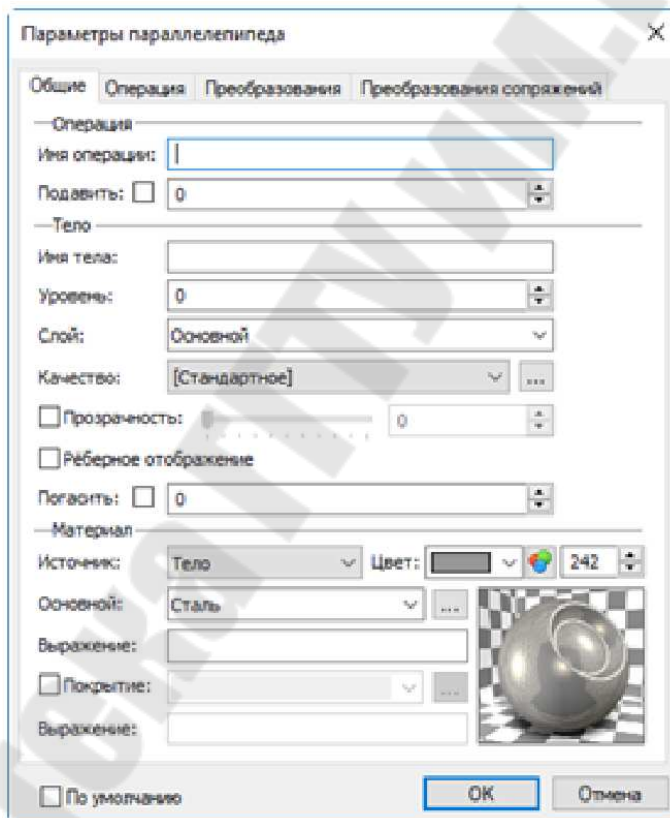


Рис. Иллюстрация процесса выбора параметра визуализации 3D изображения

### Группа Операция

**Имя** операции – имя 3D операции, для которой вызван диалог параметров.

Все 3D элементы, и 3D операции в том числе, имеют уникальное имя. Имя используется для выбора нужного элемента из списка.

Пользователь может самостоятельно задавать имя. В этом случае система следит только за уникальностью вводимого имени. Если пользователь не задаёт имя, то система генерирует собственное, состоящее из названия элемента и идентификационного номера. Нумерация (присвоение идентификационного номера) осуществляется независимо для разных типов 3D операций. Например, для операций выталкивания генерируются следующие имена: Выталкивание\_1, Выталкивание\_2 и т.д.

Имена по умолчанию для каждого типа элементов описаны в файле

**Подавить** – опция, отвечающая за исключение данной операции из пересчёта 3D модели. Подавленная операция не отображается в 3D сцене. Полезно использовать данный параметр на этапе формирования отдельных частей сложныхборок. Уже отработанные элементы можно временно подавить и работать только с теми, которые необходимы для дальнейших построений. В качестве значения данного параметра можно использовать вещественную переменную. Операция будет подавлена, если значение переменной не равно нулю.

*Группа Тело*

**Имя** тела. Имя Тела, в формировании которого участвует данная операция.

**Уровень**, Слои – общесистемные параметры Тела.

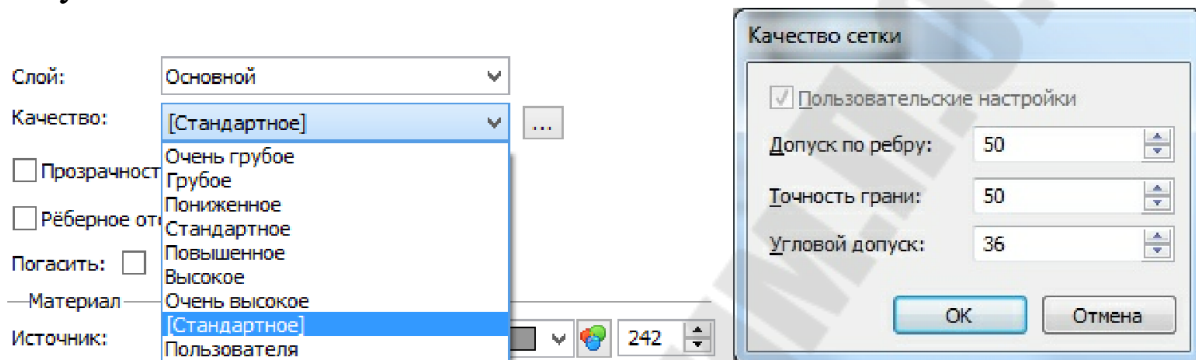
**Качество**. Параметр, позволяющий задавать степень разбиения модели на сетку треугольных плоских граней при выводе изображения в 3D окне.

Из выпадающего списка можно выбрать predeterminedные наборы параметров, задающие качество сетки:

- **Очень грубое**
- **Грубое**
- **Пониженное**
- **[Стандартное]**
- **Повышенное**
- **Высокое**
- **Очень высокое**
- **[Стандартное]** – значения параметров разбиения модели берутся из команды «Параметры документа» (параметр **Качество** сетки на закладке

– **Исходная** операция – значения параметров разбиения модели берутся из параметров операции, родительской по отношению к операции, указанной в данном диалоге параметров;

– **Пользователя** – значения параметров разбиения модели определяются пользователем. Дополнительная кнопка ... вызывает окно диалога для задания пользовательских значений параметров разбиения модели (в единицах модели). В диалоге параметров сетки можно задать свои значения: допуска по ребру, точности грани и углового допуска.



*Рис.* Иллюстрация процесса выбора predetermined наборов параметров, задающих качество сетки

Более высокое качество отображения модели увеличивает количество плоских граней, замедляя работу на больших моделях или на недостаточно производительных видеокартах. Рекомендуется по возможности минимизировать качество изображения модели.

При чтении моделей предыдущих версий система автоматически подбирает новые параметры качества. В некоторых ситуациях назначаемое автоматически качество может оказаться ниже или выше ожидаемого. В этих случаях рекомендуется изменить его вручную, выбрав соответствующее значение качества в параметрах документа (команда **Параметры** документа) либо в параметрах Тела. Определить, на сколько треугольников разбивается конкретная модель при конкретном значении параметра качества, можно с помощью опции **Выводить** информацию о производительности графики в диалоге **Параметры** графической системы. Он вызывается нажатием кнопки **Параметры** графики... на закладке 3D команды «Настройка → Установки».

**Прозрачность.** Флажок, слайдер и поле редактирования значения прозрачности.

**Рёберное** изображение. При использовании этой опции тело будет принудительно отображаться в режиме рёберного изображения.

**Погасить** – опция, позволяющая скрыть Тело в 3D сцене, не включая его из пересчёта модели.

Все параметры группы Тело доступны для изменения только в том случае, когда текущая операция однозначно связана с Телом. Если операция формирует несколько разных Тел, параметры данной группы недоступны.

### *Создание материалов и редактирование их характеристик*

Параметры группы **Материал** позволяют придавать виртуальным моделям внешнее сходство

с реальным изделием при использовании режима визуализации **Тоновая** закрашка материалами:

**Источник** – параметр, который определяет, откуда берётся материал. Возможные варианты:

- **Тело**. Параметры заданы в текущем Телe;
- **Исходная** операция. Параметры наследуются из исходной операции;
- **Текущая** операция. Параметры заданы в текущей операции. Эта опция введена для обеспечения совместимости с предыдущими версиями;

**Цвет** – цвет Тела в режиме **Рёберное** изображение, **Тоновая** закрашка **Изображение** с удалением невидимых линий, **Изображение** с точным удалением невидимых линий.

**Основной** материал. Данный параметр задаёт основной материал Тела. Он используется для расчёта масс инерционных характеристик и инженерного анализа, а также для отображения Тела в 3D сцене в режиме визуализации **Тоновая** закрашка с материалами (если не задан дополнительный материал покрытия).

Задать материал можно, выбрав его из выпадающего списка справа. В списке отображаются как материалы данной 3D модели (верхняя часть списка), так и полный список материалов системы (нижняя половина списка).

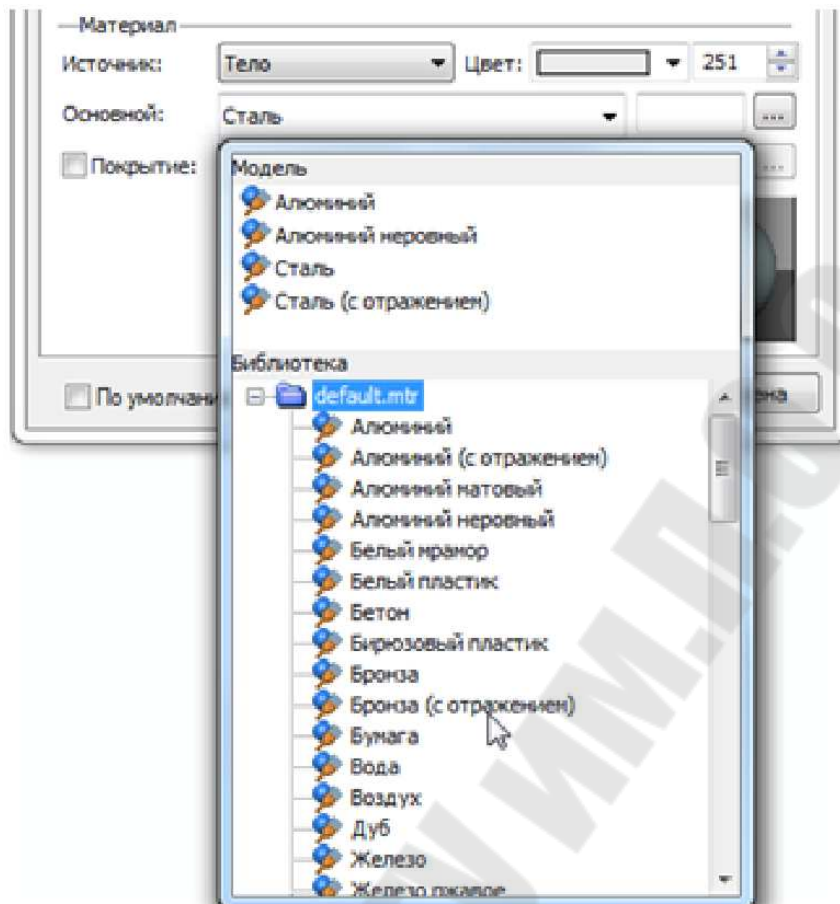


Рис. Иллюстрация процесса выбора материала из выпадающего списка справа

Материал может быть задан текстовой переменной. Значением такой переменной должно быть имя существующего материала. При создании переменной непосредственно в окне параметров операции одновременно создаётся список возможных значений данной переменной. Список содержит перечень всех используемых в данной модели материалов.

Имя	Выражение	Значение
\$Материал_покрытия	"Алюминий матовый"	Алюминий матовый
	Сталь	
	Сталь полированная	
	Сталь рифлёная	
	БрА7 ГОСТ 18175-78	
	Алюминий матовый	

Рис. Иллюстрация процесса выбора материала из списка, содержащего перечень всех используемых в данной модели материалов

Если модель используется в качестве 3D фрагмента, то с помощью такой переменной можно управлять материалом фрагмента.

**Материал** покрытия. Дополнительный материал для задания параметров отображения модели в 3D окне. Он позволяет задать отличный от основного материал для использования в целях визуализации. При этом для инженерных расчётов будет по-прежнему использоваться основной материал. Для задания материала покрытия нужно включить соответствующий флажок. Может быть задан текстовой переменной.

**Материал** (как основной материал Тела, так и материал покрытия) — это тоже элемент 3D системы. Он содержит перечень характеристик реального материала, с которым мы имеем дело в действительности. Элемент материала имеет параметр плотность, отражающая способность, поглощающая способность и т.д. Для каждой 3D операции в качестве значения параметров **Основной материал/Материал покрытия** можно использовать **текстовую** переменную.

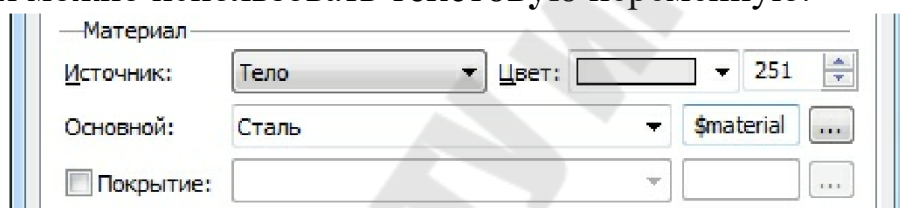


Рис. Иллюстрация процесса выбора материала покрытия

Значением такой переменной должно быть имя существующего материала. При создании переменной непосредственно в окне параметров операции одновременно создаётся список возможных значений данной переменной. Список содержит перечень всех используемых в данной модели материалов

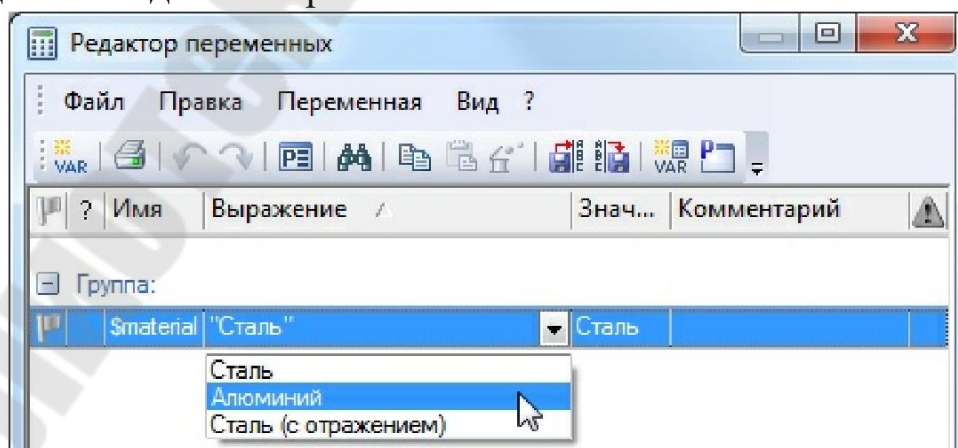


Рис. Иллюстрация процесса создания переменной непосредственно в окне параметров

Если модель используется в качестве 3 фрагмента, то с помощью такой переменной можно управлять материалом фрагмента.

### *Анализ геометрии трехмерной модели*

#### *Измерение*

#### Вызовкоманды

Пиктограмма	Лента
	Измерение > Измерить > Измерить
Клавиатура	Текстовое меню
<PM>	Параметры > Измерить

Рис. 5. Последовательность действий при запуске команды **Измерить**

Измерить различные геометрические характеристики (координаты, длину, периметр, площадь, объём и т.п.) 2D или 3D объекта, а также отношения (расстояние, угол и т.п.) между двумя объектами позволяет команда **Измерить**. На основе измеренной характеристики автоматически может быть создана новая переменная или изменено значение уже существующей. Результаты измерений можно сохранить, выводить в отчёт и иллюстрировать декорациями.

В автоменю команды доступны следующие опции:



Закончить ввод



Выйти из команды



Режим измерения тел



Создать 3D узел



Сохранить результат измерения

Опции  и 



доступны только после выбора объекта измерения

Доступно три режима измерения, переключение между которыми осуществляется при помощи соответствующих пиктограмм.



Измерить параметр одного элемента



Измерить отношение между двумя элементами



### Измерить несколько элементов

После входа в выбранный режим необходимо указать в 2D или 3D окне измеряемый объект или объекты. При выборе учитывается состояние фильтров выбора элементов в панели привязок. Набор фильтров зависит от активного на данный момент окна системы (2D или 3D).

### Массинерционные характеристики

Вызов команды:

Пиктограмма	Лента
	Измерение > Измерить > Характеристики
Клавиатура	Текстовое меню
<ЗМР>	Сервис > Анализ геометрии > Характеристики

Рис. 5. Последовательность действий при запуске команды **Характеристики**


Данная команда позволяет произвести расчёт массинерционных характеристик выбранных операций

После входа в команду по умолчанию активна опция:



### Выбрать операцию

Она позволяет выбрать операцию, характеристики которой требуется рассчитать.

Чтобы рассчитать характеристики всех присутствующих в сцене операций можно либо нажать  не выбрав ни одного тела, либо воспользоваться опцией:



### Выбрать все тела

Если необходимо рассчитать характеристики с учётом всех существующих операций, никаких операций выбирать не надо. Это подходит для тех случаев, когда необходимо вычислить характеристики сборочной модели, состоящей из нескольких тел. Причём, эти тела могут иметь различную плотность. Программа это учтёт.

Для отмены выбора всех операций используется опция:



### Отменить выбор операций



При необходимости, расчёт можно провести относительно локальной системы координат, выбор которой осуществляется с помощью опции:



### Выбрать систему координат

Для отмены выбора системы координат используется опция



### Отменить выбор системы координат

Если целевая система координат не указана, то расчёт производится относительно глобальной системы координат.

После выбора операций и системы координат необходимо завершить ввод данных. После завершения ввода на экране появится окно **Массинерционные характеристики**.

Наименование	Значение	Единиц...
Площадь поверхности	122713	кв. мм...
Объём	546131	куб. м...
Масса	3902.86	грамм
Координата X центра масс	68.8906	мм...
Координата Y центра масс	30.812	мм...
Координата Z центра масс	-0.038212	мм...
Момент инерции относительно оси X	7.97858e+006	грамм...
Момент инерции относительно оси Y	2.72022e+007	грамм...
Момент инерции относительно оси Z	3.14875e+007	грамм...
Произведение инерции XY	7.56356e+006	грамм...
Произведение инерции YZ	2182.44	грамм...
Произведение инерции ZX	-9475.12	грамм...

Единицы измерения  
Единицы массы:    
Линейные единицы:

Точность вычислений  
  
Грубее   Точнее

Рис. Вид окна Массинерционных характеристик

С помощью параметров **Единицы массы** и **Линейные единицы**, можно установить необходимые единицы измерения.

**Точность вычислений** можно задать в соответствующем поле, или воспользоваться специальным ползунком.


Если нажать кнопку [**Расчёт**] то в диалоге появятся расчётные значения характеристик, представленных данным окном диалога.

Кнопка [**Экспорт**] позволяет сохранить результаты расчёта в текстовом файле.

Кнопка [**Выход**] позволяет закрыть окно расчёта характеристик и снова попасть в режим выбора тел и системы координат.

### *Проверка модели*

Вызов команды:

Пиктограмма	Лента
	Измерение > Анализ геометрии > Проверка модели Анализ > Дополнительно > Проверка модели Грани > Дополнительно > Проверка модели Сварка > Дополнительно > Проверка модели Примитивы > Дополнительно > Проверка модели
Клавиатура	Текстовое меню
<QM>	Сервис > Анализ геометрии > Проверка модели

*Рис. 5.* Последовательность действий при запуске команды **Проверка модели**

Данная команда предназначена для проведения диагностики выбранного тела на предмет выявления ошибок в его геометрии. Ошибки могут стать препятствием для осуществления дальнейших действий над моделью. Ошибки в геометрии могут возникнуть, например, вследствие некачественного импорта 3D модели из других программ. Но иногда ошибки могут появиться при создании 3D модели в T так как при создании 3D операции автоматически производится только локальная проверка модели. Полная же проверка, в зависимости от сложности модели, может занимать определённое время.

Примеры некоторых типичных ошибок приведены на рисунке *а* – несогласованность циклов *б* – самопересечение *в* – не выполняется соответствие граней).

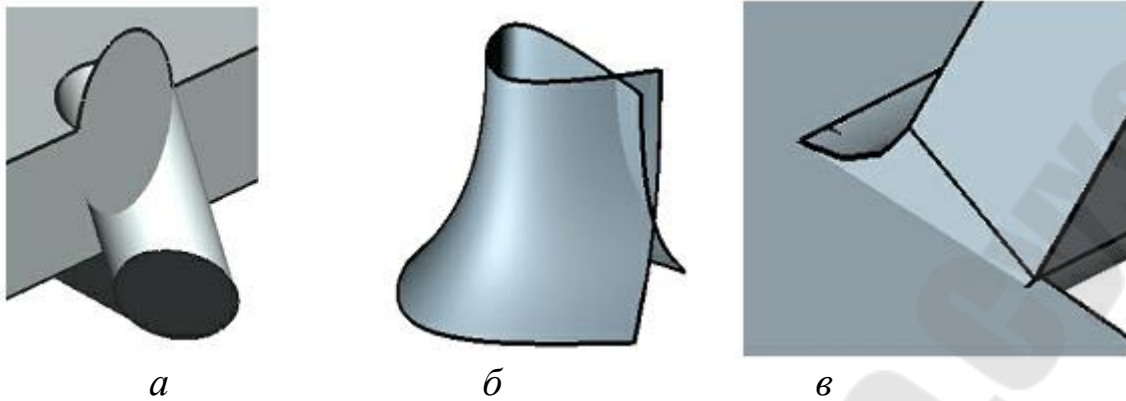


Рис. Примеры типичных ошибок

После входа в команду появляется возможность выбрать элементы, которые необходимо проверить. Это могут быть рёбра, грани, или операции целиком (при этом одновременно будут проверяться все рёбра и грани, принадлежащие этой операции). Для выбора необходимо использовать опции:



**Выбрать ребро**



**Выбрать грань**



**Выбрать операцию**

Чтобы выбрать все операции сразу можно использовать опцию:



**Выбрать все операции**

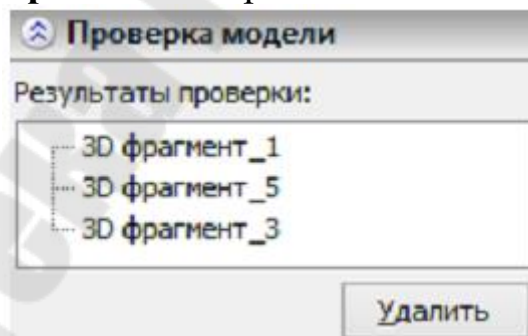


Рис. 5.2 Вид экрана при запуске команды выбора операций

После выбора элемента он попадает в список **Результаты проверки**. В этом списке рядом с именем элемента пишется, был ли элемент проверен, а если был, то каковы результаты проверки. Чтобы отменить выбор одного из элементов необходимо еще раз кликнуть по нему в 3D окне. Чтобы отменить выбор всех элементов необходимо использовать опцию:



### Отменить выбор всех объектов

Чтобы провести проверку выбранных элементов нужно использовать опцию:



Завершить ввод

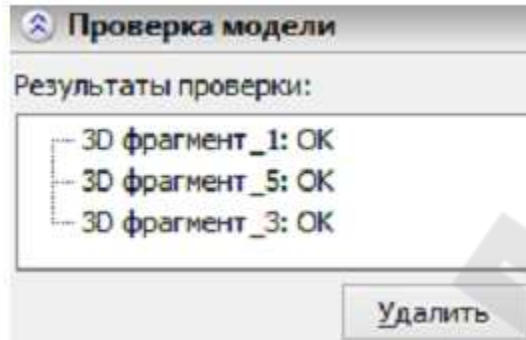


Рис. 5.2 Вид экрана при запуске команды проверки выбранных элементов

После выбора этой опции программа проведёт проверку выбранных элементов и выведет результаты в окне **Результаты проверки**. Если ошибок не обнаружено, рядом с элементом будет стоять **ОК**

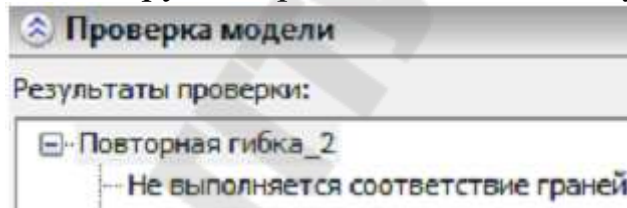


Рис. 5. Вид экрана при отображении результатов проверки

Если же выявлена ошибка, рядом с именем элемента появится список обнаруженных ошибок.

Если кликнуть на конкретной ошибке, то в 3D окне ошибочная часть модели будет помечена красным цветом.

Выбрать новые элементы для проверки можно сразу же, не выходя из команды.

### **Фотореалистичное отображение 3D сцены**

Фотореалистичное изображение 3D сцены – это специальное изображение сцены, в котором учитываются тени, отбрасываемые объектами, а также такие явления как отражение и преломление света.

В программе имеется три различных механизма создания фотореалистичных изображений.

Первый из них использует встроенную технологию , второй использует ядро трассировки лучей, разработанное , третий –приложение

### *Выбор и настройка качества изображения*

Создать удачное фотореалистичное изображение с первой же попытки удаётся редко. Обычно требуется создать несколько тестовых фотореалистичных изображений, которые помогают скорректировать положение камеры, яркость и положение источников света, а также проверить правильность анимации. После этого проводится финальная визуализация. Но создание фотореалистичного изображения может занимать различное время, в зависимости от сложности сцены и параметров, определяющих качество изображения.

Знание этих параметров с одной стороны, помогает избежать излишних затрат времени на проведение пробной визуализации, а с другой стороны, помогает добиться более высокого качества финального изображения.

Существуют различные параметры, позволяющие менять качество получаемого фотореалистичного изображения.

**Качество сетки.** Данный параметр задаётся в параметрах документа (команда «Параметры документа»), и кроме фотореализма, влияет ещё и на качество отображения объектов в 3Dокне.

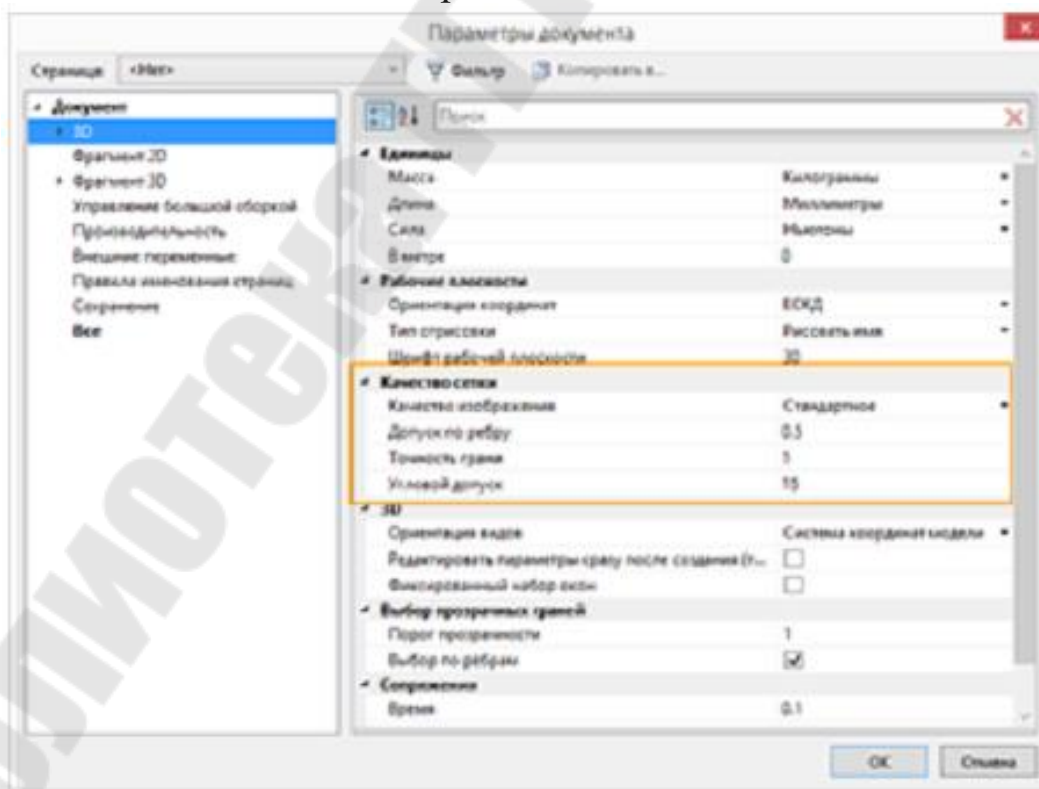


Рис. 5. Вид экрана при отображении параметров документа

Кроме того настройку качества изображения можно вызвать при помощи панели **Вид**

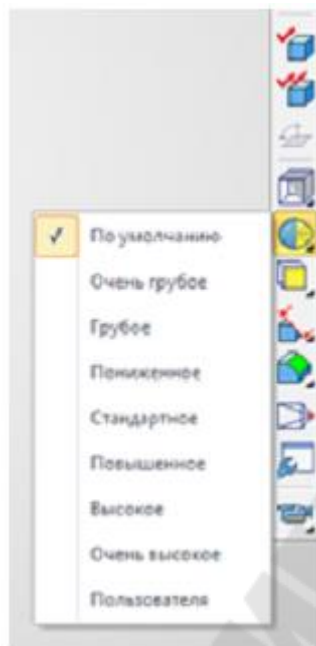


Рис. 5. Вид экрана при отображении панели **Вид**

Чем выше данный параметр, тем дольше ведётся экспорт сцены в формат POV, тем больше оперативной памяти используется POV Ray и тем дольше POV Ray ведёт предварительную подготовку сцены перед визуализацией. В связи с этим, при проведении предварительной визуализации качество сетки желательно снизить, возможно, даже до минимума. При проведении финальной визуализации лучше установить максимальное качество сетки.

#### 1. Фотореалистичный вид

Данный механизм для генерации фотореалистичных изображений основан на технологии NVIDIA OptiX. Она предназначена для генерации фотореалистичных изображений высокого качества с учётом освещения, а также таких свойств материала, как прозрачность, коэффициент преломления, свойства поверхности и т.д.

Механизм позволяет получать фотореалистичное изображение непосредственно из среды T, обеспечивая удобный и интуитивно понятный интерфейс управления параметрами сцены, качеством генерации изображения, а также возможность сохранения результатов генерации в файл и печати. С помощью данного механизма можно получать фотореалистичное изображение не только с трёхмерных моделей, но и с импортированных 3D изображений.

Технология NVIDIA OptiX используется при создании фотореалистичных видео при записи анимации разборки в команде « **Разборка** »


Третий механизм для генерации фотореалистичных изображений использует Embree – ядро трассировки лучей, разработанное Intel.

Для своих расчётов Embree использует центральный процессор и отличается высокой производительностью и качеством изображения.

Интерфейс для работы с NVIDIA Optix идентичен интерфейсу работы с Embree.

*Работа с командой*

Для вызова опции используется команда:

Пиктограмма	Лента
	Инструменты > Оформление > Фотореализм > Фотореалистичный вид (GPU NVIDIA)
Клавиатура	Текстовое меню
<b>&lt;3RV&gt;</b>	Сервис > Фотореалистичный вид (GPU NVIDIA)

Пиктограмма	Лента
	Инструменты > Оформление > Фотореализм > Фотореалистичный вид (CPU)
Клавиатура	Текстовое меню
	Сервис > Фотореалистичный вид (CPU)

Рис. 5. Вид экрана при отображении последовательности выбора команды **Фотореалистичный вид**

После активации команды появляется новое окно, в котором генерируется изображение.

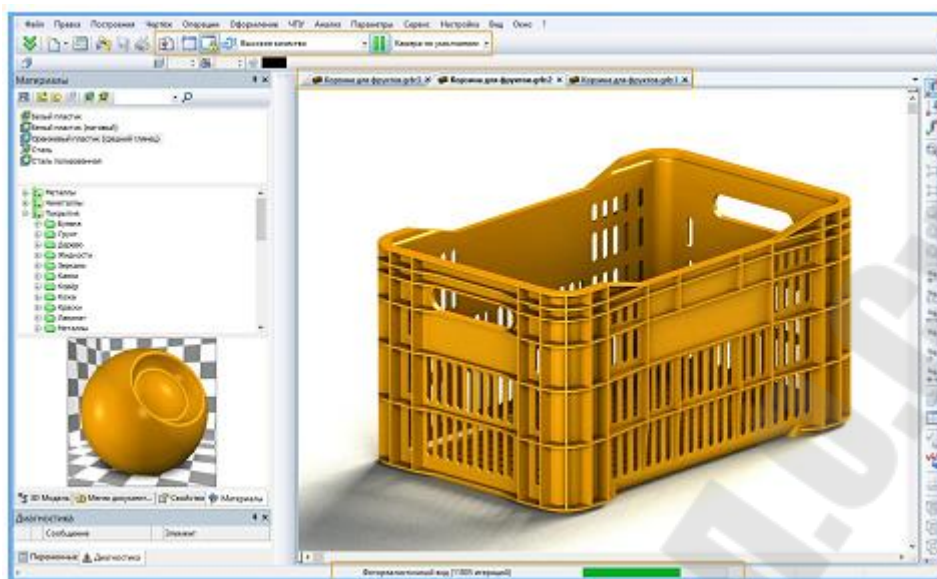


Рис. 5. Вид экрана при появлении сгенерированного изображения

Качество создаваемого изображения во многом зависит от количества итераций. Итерация – вычисление цвета пикселей изображения. Количество итераций зависит от размера изображения, плотности сетки и количества объектов.

## 6 Решение конструкторских задач с использованием конечноэлементного анализа

### *Приложение нагрузки на трехмерную модель: сила, давление, крутящий момент вращение*

Статические расчеты конструкций на прочность занимают особое место в машиностроительном проектировании. Действительно, очень часто в машиностроительном проектировании возникает необходимость оценки напряженного состояния отдельных элементов (деталей) изделия или конструкции в целом. Обычно при проверочном расчете изделия на прочность расчетчика интересуют:

- распределение составляющих напряжений по объему элементов конструкции. По этим данным можно сделать выводы о наиболее уязвимых местах конструкции и на этапе проектирования оптимизировать изделие с целью достижения равнопрочности;
- максимальные значения компонентов напряжений в материале. В соответствии с различными теориями прочности по отношению максимальных расчетных значений напряжений к максимальному допускаемому для данного материала можно сделать выводы о надеж-



ности конструкции в плане ее прочности (способности не разрушиться) под действием приложенных к системе нагрузок.

Современные системы конечноэлементного моделирования позволяют конструктору на этапе проектирования изделия решить обе эти задачи, обеспечив, таким образом, высокие механические характеристики будущего изделия.

Рассмотрим подробнее, как осуществляются прочностные расчеты в системе конечноэлементного моделирования TFLEX Анализ. Общий алгоритм осуществления прочностных расчетов под действием статических нагрузок включает этапы, представленные на рис. 1.



*Рис.* Общий алгоритм осуществления статических прочностных расчетов в системе TFLEX Анализ

#### Шаг 1. Создание объемной твердотельной модели изделия

Модель может быть построена пользователем в среде трехмерного моделирования TFLEX CAD 3D. Это может быть как рабочая модель, содержащая проекции и оформленные рабочие чертежи (рис. 2) и участвующая в составе сборки, так и используемая для расчета траекторий ЧПУ обработки.

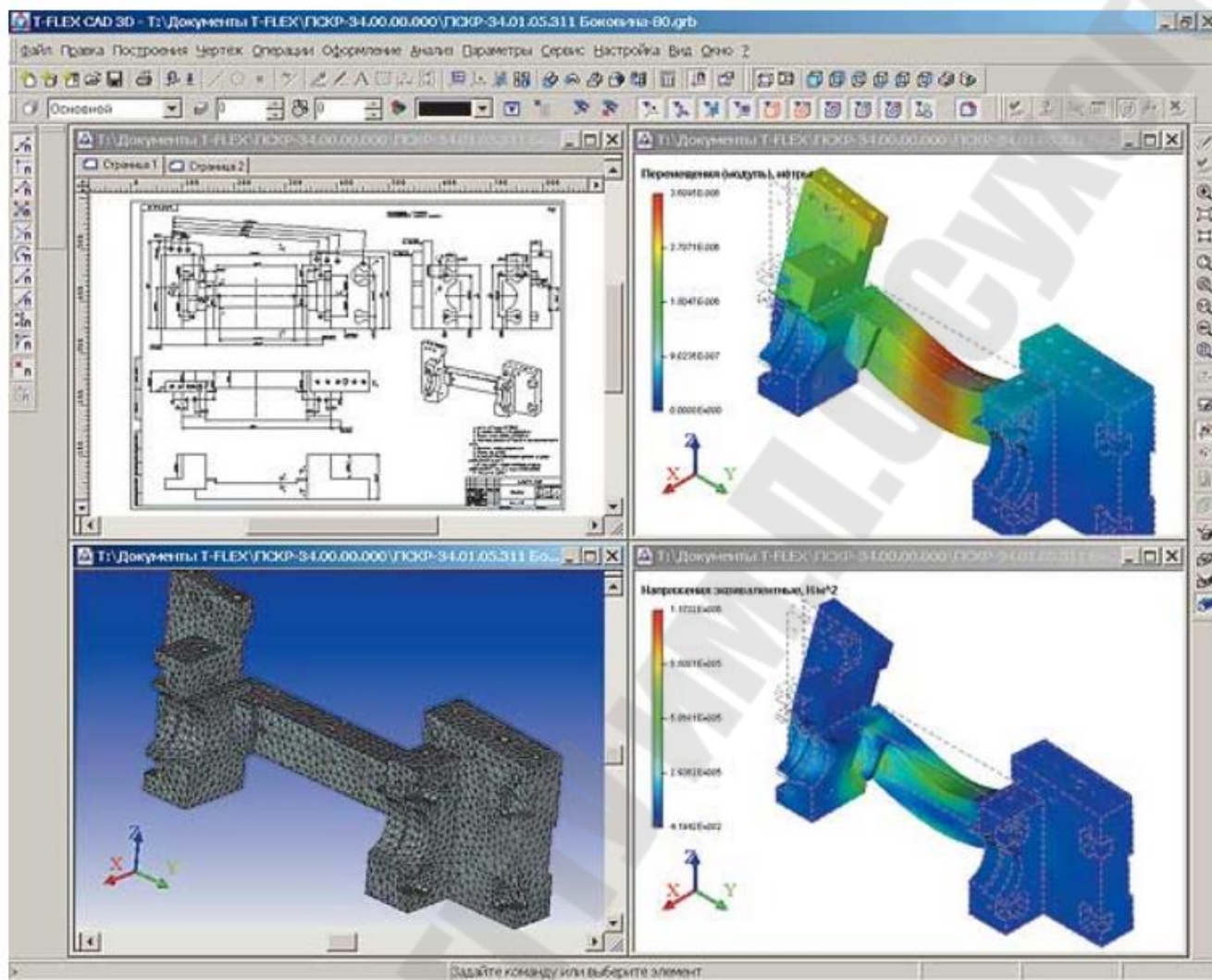


Рис. Пример расчета по трехмерной модели с рабочим чертежом (все данные хранятся в одном электронном документе)

Другими словами, для выполнения прочностного расчета нет необходимости специально готовить некоторую расчетную модель, а можно непосредственно использовать электронные документы, с которыми работает разработчик. Кроме того, используя средства импорта объемных моделей, имеющих в составе T-пользователь может загрузить в систему модель, созданную в другой системе объемного моделирования, поддерживающей для обмена данными о твердотельных моделях формата STEP и XMT. Рассмотрим в качестве примера последовательность действий по статическому расчету детали «лемех» –тяжело нагруженного элемента забойн ого шахтного конвейера. Не вдаваясь в специфические подробности эксплуатации данного элемента горношахтного оборудования, покажем расчетную схему нагружения данной детали (рис.

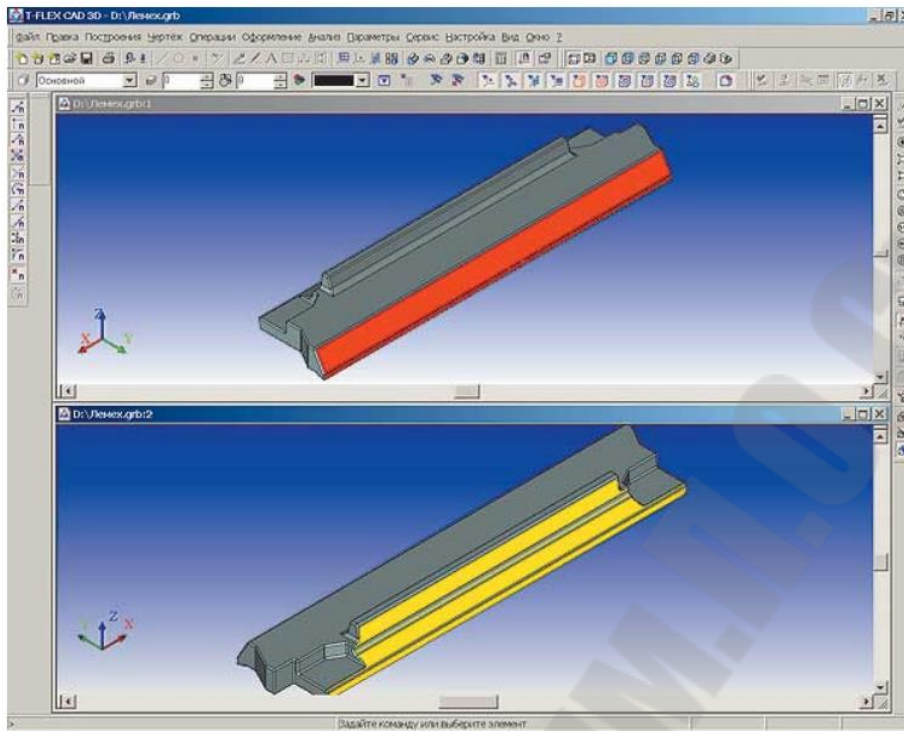


Рис. Схема нагружения детали «лемех»: красный цвет соответствует приложенной на поверхность суммарной нагрузке кН, желтый цвет соответствует условно закрепленной опорной поверхности детали

## Шаг 2. Создание задачи

После того как трехмерная модель изделия была создана или импортирована в систему TFLEX CAD 3D, можно приступать непосредственно к конечноэлементному моделированию. Любой расчет в FLEX Анализ начинается с создания задачи при помощи команды «Новая задача» меню «Анализ» TFLEX CAD (рис. 4). При создании задачи пользователь определяет ее тип («Статический анализ», «Частотный анализ», «Устойчивость», «Тепловой анализ»).

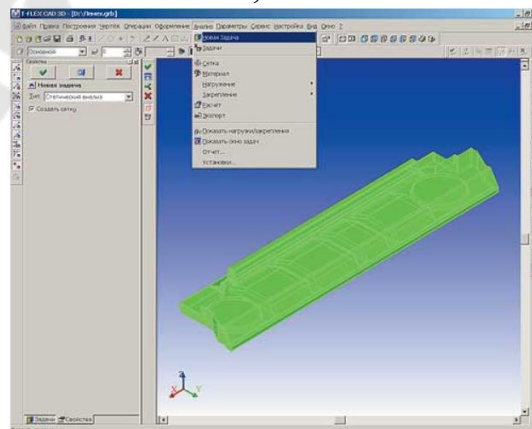


Рис. Использование команды «Новая задача» для создания задачи

Система TFLEX Анализ обеспечивает мультизадачный режим конечноэлементного моделирования. Это означает, что для одной и той же трехмерной модели пользователь может осуществить несколько расчетов подобных по типу или различных физических задач. Например, выполнив статический анализ некоторой конструкции, пользователь может создать следующую задачу типа «Устойчивость» и осуществить расчет критических нагрузений для той же конструкции. Для управления задачами используется специализированный инструмент «Дерево задач», отображаемый в специальном окне T CAD. Дерево задач обеспечивает удобный доступ к элементам задач (сетке, закреплениям, нагрузениям) и результатам расчетов.

Еще одно важное замечание. Для того чтобы осуществлять какие-либо расчеты с твердотельной моделью детали, необходимо определить материал, из которого она изготовлена. В TFLEX Анализ есть две возможности задания материала для выполнения анализа. По умолчанию в расчете используются характеристики материала «С операции». В стандартной версии TFLEX CAD 3D есть возможность присваивать телам, участвующим в создании трехмерной модели изделия, материал из внутренней базы TFLEX CAD, например «Сталь» или «Алюминий». Пользователь может пополнять стандартную базу материалов своими материалами. Кроме того, в составе системы TFLEX Анализ есть собственная независимая база материалов, которую также можно использовать для задания физикомеханических свойств анализируемого изделия. Установим для нашей детали материал «Сталь» из библиотеки материалов TFLEX Анализ (рис.

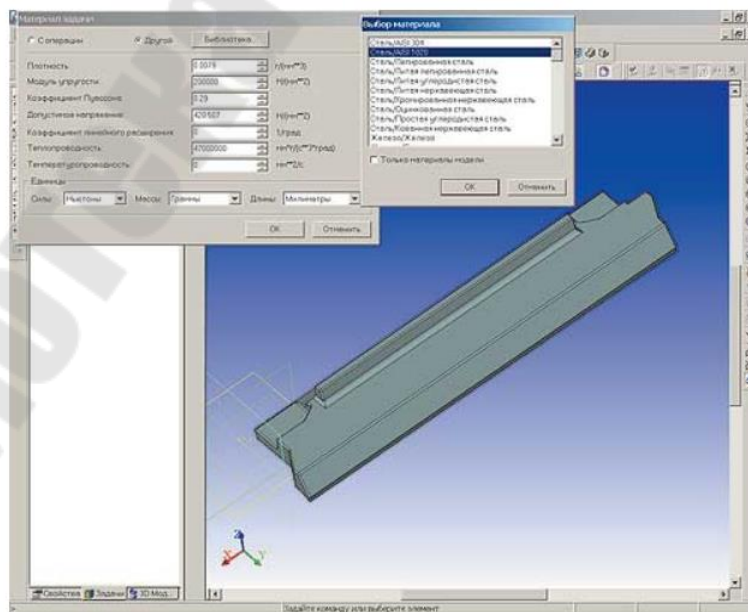
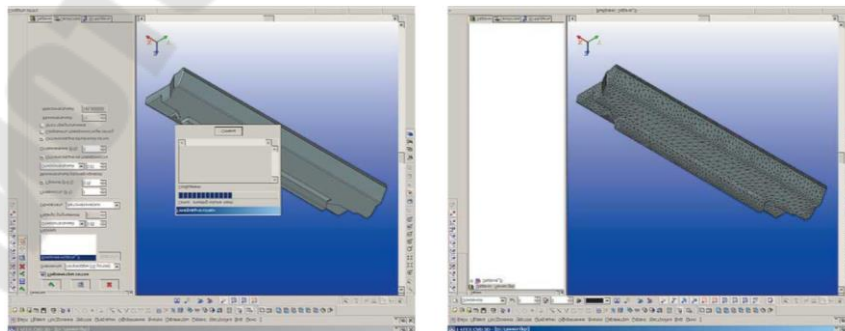


Рис. Использование библиотеки материалов в TFLEX Анализ

### Шаг 3. Генерация конечноэлементной сетки

Для осуществления конечноэлементного моделирования необходимо построение расчетной сетки из тетраэдральных элементов. Команда построения такой сетки («Сетка») инициируется автоматически при создании задачи или может быть вызвана пользователем из меню «Анализ» TFLEX CAD. При создании сетки пользователь определяет степень дискретизации твердотельной модели, указывая в параметрах сетки ориентировочный размер конечных элементов (тетраэдров), при помощи которых будет описана математическая модель моделируемого изделия. Здесь необходимо отметить следующие моменты. Конечноэлементная сетка может существенно влиять на качество получаемых решений в случае сложной пространственной конфигурации изделий. Обычно более мелкое разбиение обеспечивает лучшие в плане точности результаты. Однако аппроксимация модели большим количеством маленьких тетраэдров приводит к возникновению системы алгебраических уравнений большого порядка, что может сказаться на скорости выполнения расчета. Для начального уровня разбиения не очень сложных моделей в TFLEX Анализ рекомендуется относительный размер сетки 0,05. Обычно с таким относительным размером для многих моделей создается сетка довольно высокого уровня дискретизации. Вообще, оценить качество конечноэлементной модели можно последовательным решением нескольких задач с различными возрастающими степенями дискретизации. Если решения (максимальные перемещения и напряжения) перестают заметно меняться при использовании более густой сетки, то можно со значительной долей уверенности считать, что достигнут некий оптимальный уровень дискретизации и дальнейшее увеличение дискретизации сетки нерационально.

Построим для нашей детали «лемех» конечноэлементную сетку  
*рис.*



*Рис.* Процесс генерации конечноэлементной сетки и готовая с точная модель

## ***Наложение ограничений: полное закрепление, частичное закрепление, контакт***

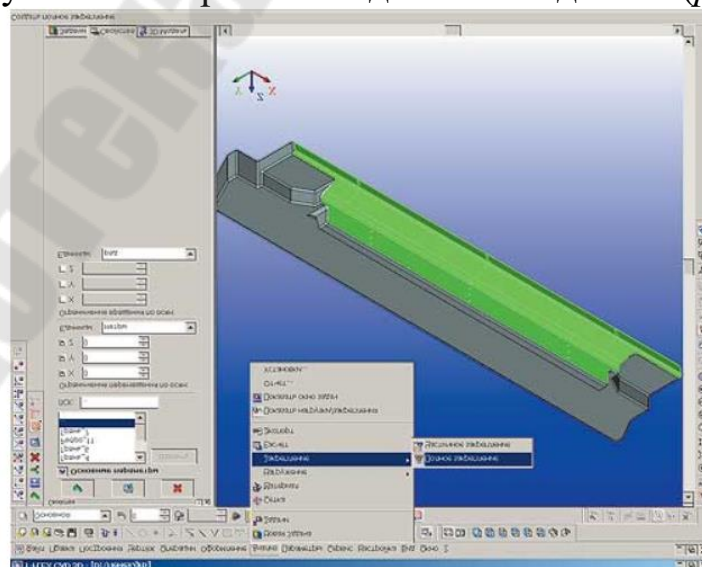
### **Шаг 4. Наложение граничных условий**

Для успешного решения физической задачи в конечно-элементной постановке помимо создания конечно-элементной сетки необходимо корректно определить так называемые граничные условия. В статике их роль выполняют закрепления и приложенные к системе внешние нагрузки. Этап задания граничных условий очень ответственный и требует хорошего понимания расчетчиком сути решаемой задачи. Поэтому прежде чем приступить к наложению граничных условий, следует хорошо продумать физическую сторону задачи.

#### **Задание закреплений**

Для задания закреплений в TFLEX Анализ предусмотрены две команды: «Полное закрепление» и «Частичное закрепление». Команда «Полное закрепление» применяется к вершинам, граням и ребрам модели и определяет, что данный элемент трехмерного тела полностью неподвижен, то есть сохраняет свое первоначальное расположение и не меняет положения под действием приложенных к системе нагрузок. Команда «Частичное закрепление» обладает более широкими возможностями. С помощью этой команды можно ограничить перемещение тела в определенных координатных направлениях или определить заданное положение элементов модели. Последнее свойство позволяет осуществить расчет напряженного состояния конструкции, для которой известна ее конечная деформация. В этом случае для осуществления расчета не обязательно даже наложение сил.

Зададим условия закрепления для нашей детали (*рис.*)



*Рис.* Наложение граничных условий – задание закреплений

## Задание нагрузений

Для задания нагрузок в TFLEX Анализ предусмотрен целый набор специализированных команд (рис. ). Кратко рассмотрим их назначение.

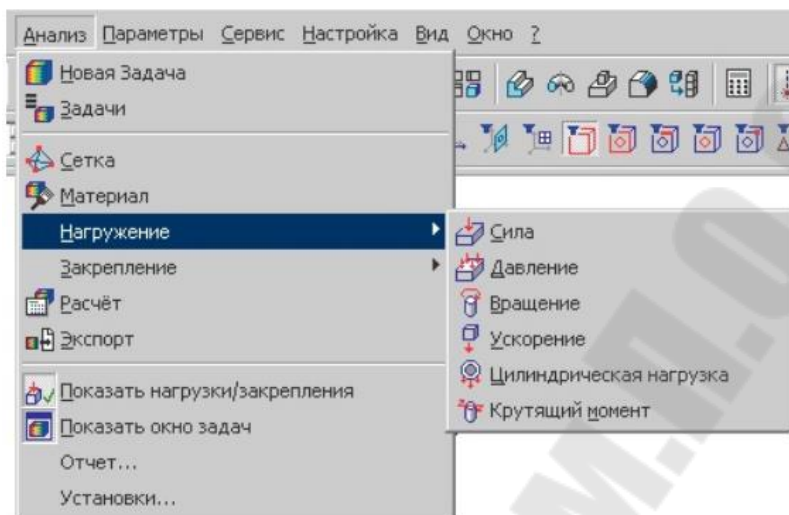


Рис. Команды задания нагрузений для статического анализа

Нагрузка «Сила» позволяет задать сосредоточенную или распределенную силу, приложенную к вершине, ребру или грани модели.

Нагрузка «Давление» позволяет приложить к грани модели известное давление, распределенное по площади.

Нагрузка «Линейное ускорение» позволяет задать такие нагрузки, как, например, сила тяжести или другое постоянное инерционное ускорение.

Нагрузка «Вращение» позволяет приложить к системе центробежные и касательные силы инерции, возникающие при равномерном или ускоренном вращательном движении модели.

Специальный тип нагружения «Цилиндрическая нагрузка» предназначена для передачи силовых взаимодействий между цилиндрическими гранями элементов конструкции, часто встречающимися в практике машиностроительного проектирования.

Нагрузка «Крутящий момент» обеспечивает возможность приложения моментов к цилиндрическим поверхностям изделия.

Отметим еще одну функциональную возможность статических расчетов TFLEX Анализ. Пользователь может задать расчет напряженного состояния конструкции, возникающего под действием не только различных силовых, но и температурных нагрузок, – задача термоупругости. Например, можно оценить деформации, возникаю-

щие в оптическом элементе под действием разности температур (рис.

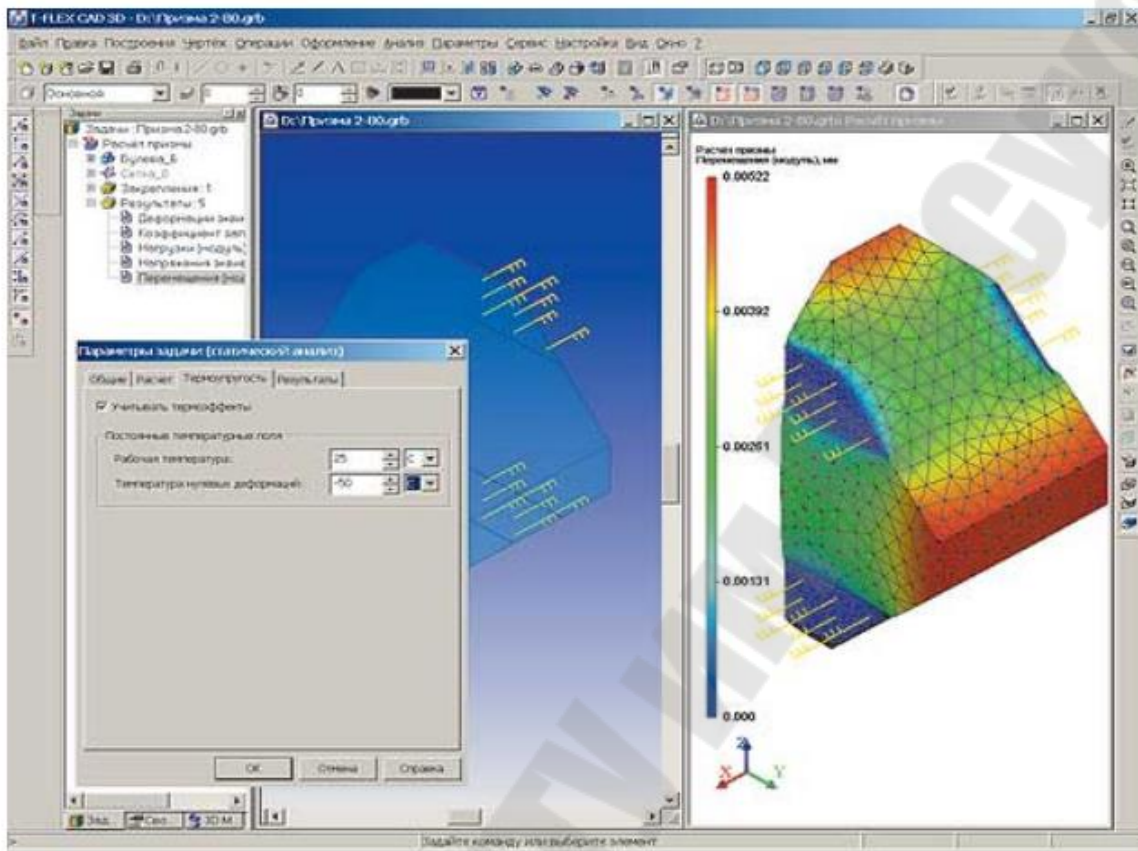


Рис. Расчет деформаций оптического элемента, вызванный перепадом температур

Зададим условия нагружения для нашей детали (рис. ). Учитывая значительный вес детали, дополнительно зададим в качестве нагрузки ускорение свободного падения.

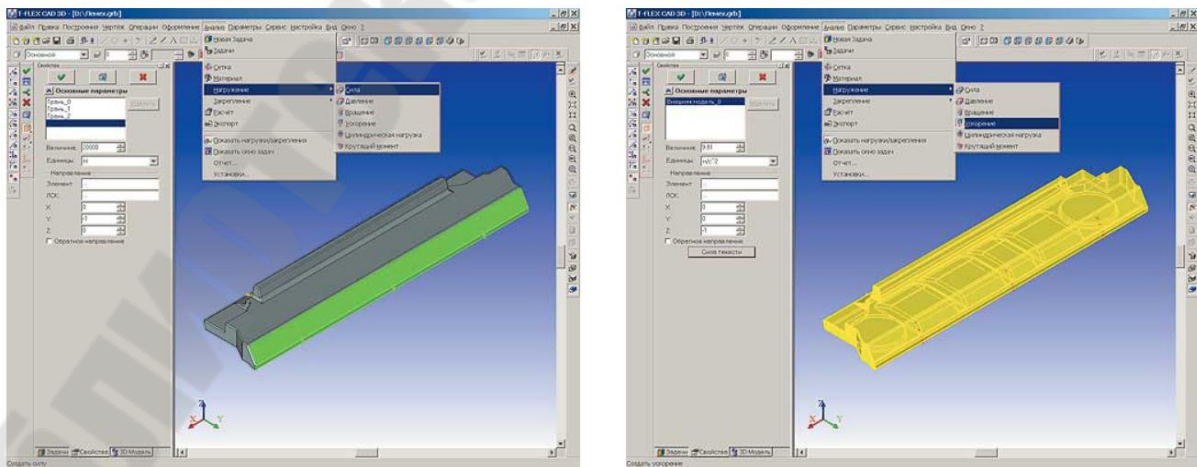


Рис. Наложение граничных условий – задание нагружения силой и ускорением свободного падения



## Шаг 5. Выполнение расчета

После создания конечноэлементной сетки и наложения граничных условий (рис. ) можно инициализировать команду «Расчет» и запустить процесс формирования систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) и их решения.

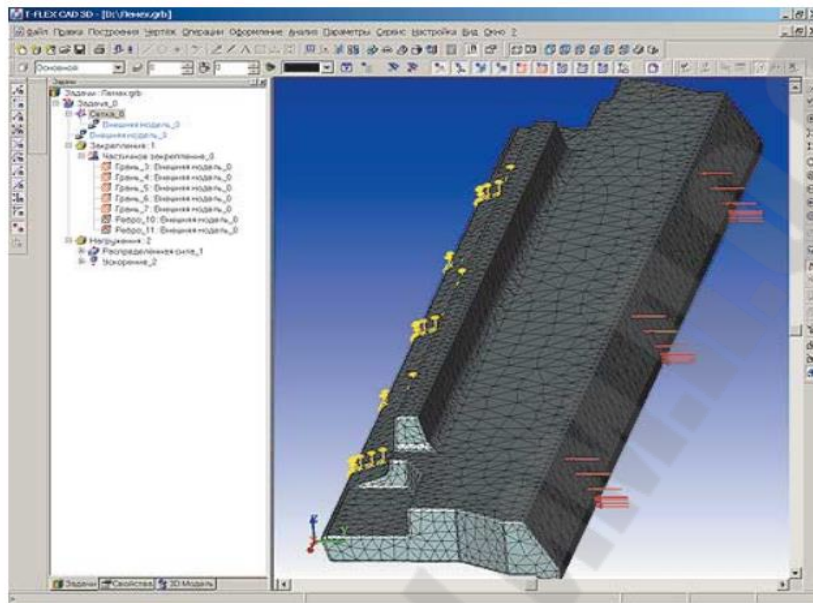
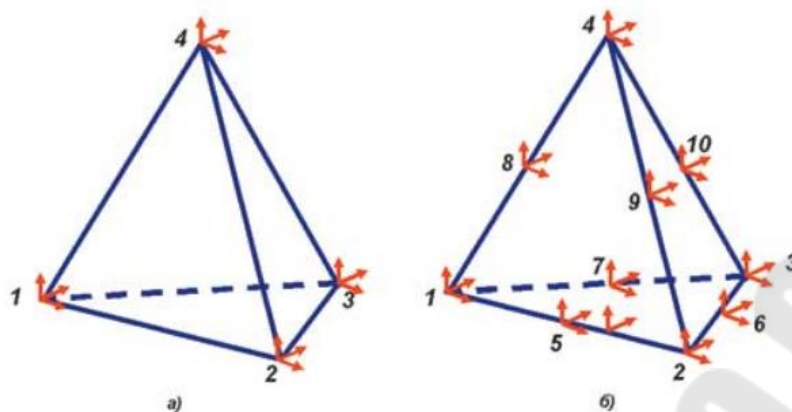


Рис. Подготовленная для расчета конечноэлементная модель детали «Лемех»

Большинство режимов для формирования СЛАУ и их решения выбираются автоматически процессором TFLEX Анализ. Отметим несколько важных моментов. Как мы уже говорилось, в TFLEX Анализ для конечноэлементного моделирования могут быть использованы тетраэдральные элементы двух типов – линейный (четырёхузловой) и квадратичный (десятиузловой), показанные на рис. 12 а и 12 б соответственно. По умолчанию расчет выполняется квадратичным тетраэдральным конечным элементом. Этот элемент обеспечивает высокую точность решения при относительно небольших уровнях дискретизации. Однако на сетках с большим количеством элементов использование квадратичного элемента может потребовать значительных вычислительных ресурсов.



*Рис.* Тетраэдральные конечные элементы, используемые в T FLEX Анализ для моделирования объемных тел:  
 а – линейный, четырехузловой;  
 б – квадратичный, десятиузловой

Во многих случаях целесообразен следующий подход. Если модель сложная и для точной аппроксимации геометрии требуется большое количество тетраэдральных элементов, пользователь может сначала задать режим расчета линейным тетраэдром для быстрой качественной оценки распределения полей перемещений и напряжений, а также для предварительной (грубой) оценки их амплитудных значений.

Уже качественный анализ может дать много полезной информации о поведении конструкции под действием нагрузок. А для того, чтобы сделать выводы о количественных значениях максимумов напряжений и перемещений, пользователь может провести расчет квадратичным тетраэдром, который обычно дает более достоверные результаты расчета.

Проиллюстрируем данный подход на нашем примере. Сначала выполним расчет линейным элементом, а затем – квадратичным. Для этого, используя контекстное меню дерева управления задачами, создадим копию нашей задачи (*рис.* ). Теперь у нас есть две независимые задачи, каждая из которых может содержать свои собственные сетки, граничные условия и результаты. Изменим соответствующим образом наименования задач и с помощью команды «Расчет» произведем решение каждой из задач. По окончании расчета можно перейти к следующему этапу – анализу результатов расчета.

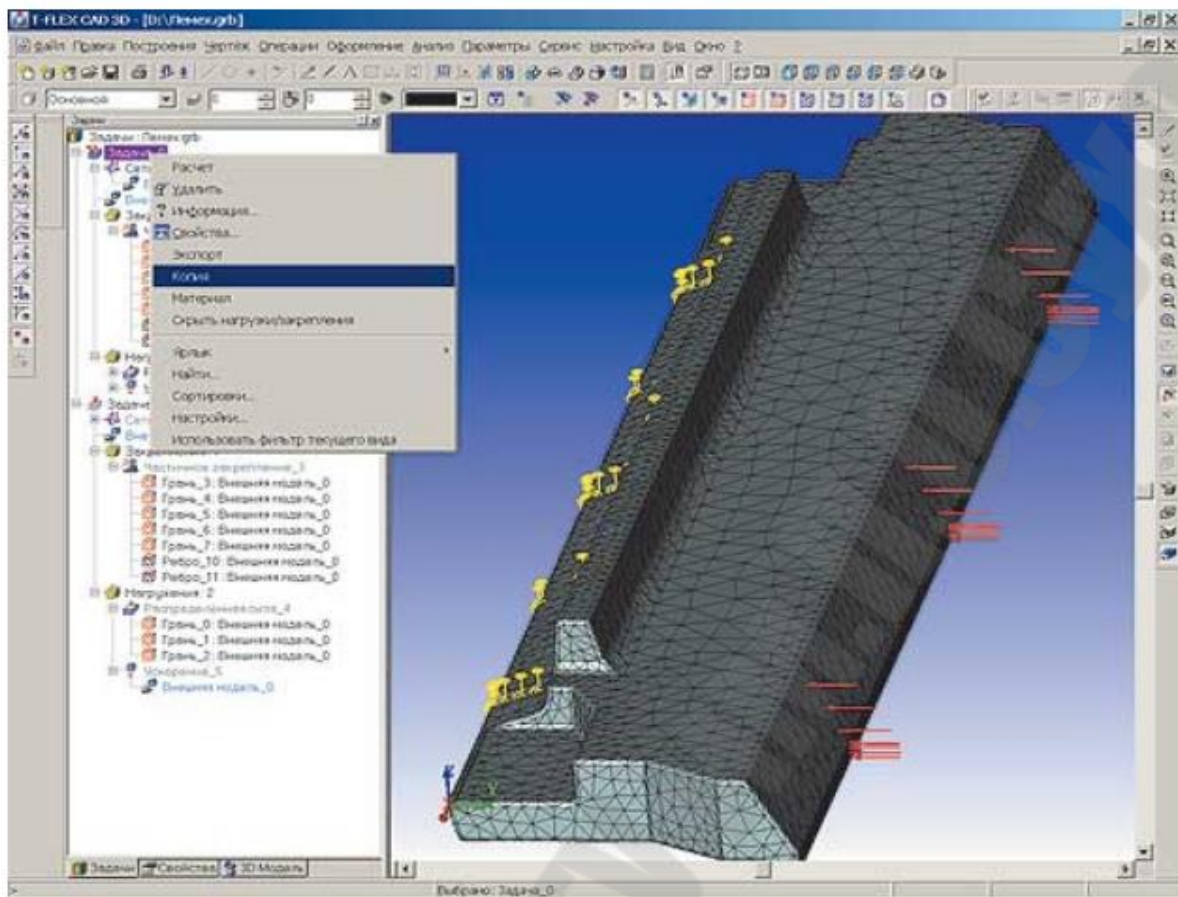


Рис. Создание копии существующей задачи

*Анализ трехмерной модели: статический анализ, частотный анализ, анализ устойчивости, экспрессанализ генератором конечноэлементных сеток*

Шаг 6. Анализ результатов расчета

Важнейшим элементом любой системы конечноэлементного моделирования является так называемый постпроцессор – инструмент, позволяющий расчетчику проанализировать полученные результаты расчетов и сделать обоснованные выводы о напряженном поведении конструкции и о ее прочности. Система TFLEX Анализ предоставляет качественные и удобные средства для этих целей. Результаты расчета отражаются в дереве задач, что обеспечивает удобный и быстрый доступ к ним. Визуализация результатов осуществляется непосредственно в интерфейсе TFLEX CAD. Одновременно могут быть открыты несколько результатов одной или разных задач

рис.

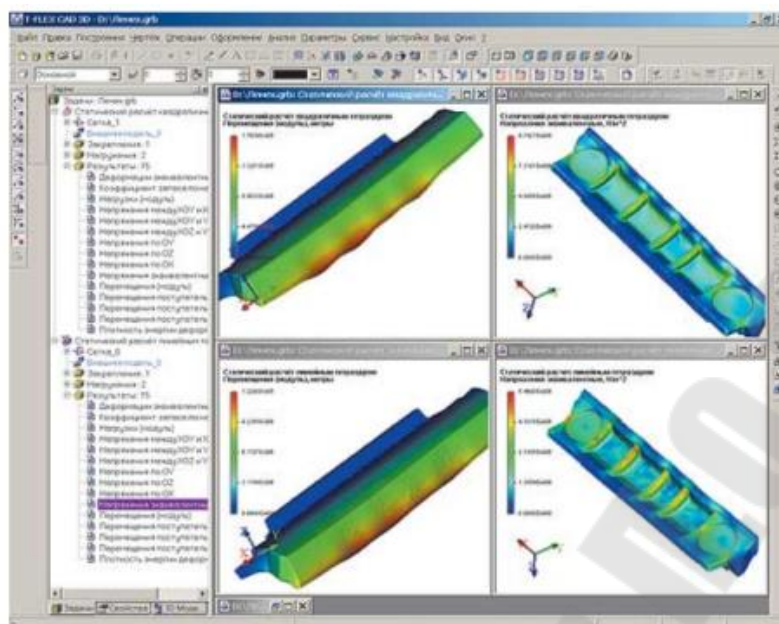


Рис. Одновременный просмотр результатов расчета перемещений и напряжений квадратичным (верхний ряд) и линейным элементами

Для пользователя доступны все команды масштабирования и позиционирования сеточной модели с результатами расчетов, к которым он привык при работе в TFLEX CAD 3D. Кроме того, конечно же, имеется набор специализированных команд и опций, позволяющих решать разнообразные сервисные функции по обработке результатов расчетов. Кратко опишем наиболее важные из них.

«Анимация» – позволяет воспроизвести поведение исследуемой модели при плавно меняющейся нагрузке, с одновременным отображением полей напряжений или перемещений, соответствующих переменной нагрузке.

«Управление отображением сеточной модели» – пользователь может задавать различные режимы отображения результатов расчета – с сеткой, без сетки, отображать контур исходной детали и тел, присутствующих в сборке, отображать деформированное состояние и т.п.

«Настройка шкалы» – пользователь получает богатые возможности по настройке панели отображения числовых значений (рис. ), например возможность использовать несколько predefined типов шкал, а также уникальную возможность гибкой настройки шкалы любого цветового наполнения. Есть возможности по установлению минимумов и максимумов пользователя, логарифмической шкалы, гибкой настройки шрифтов.

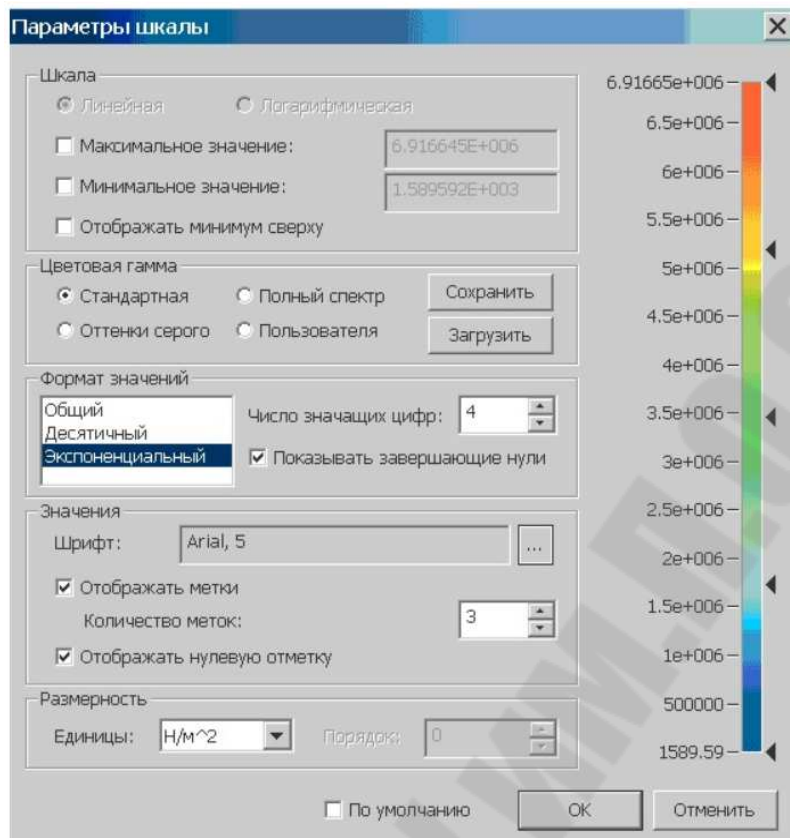


Рис. Окно настроек шкалы TFLEX Анализ

«Динамическое зондирование результата» – постпроцессор T FLEX Анализ предоставляет очень удобную и полезную возможность для вывода результата непосредственно под курсором мышь. Пользователю достаточно привести курсор на интересующее его место сеточной модели, и в этом месте появится точное значение результата (рис.

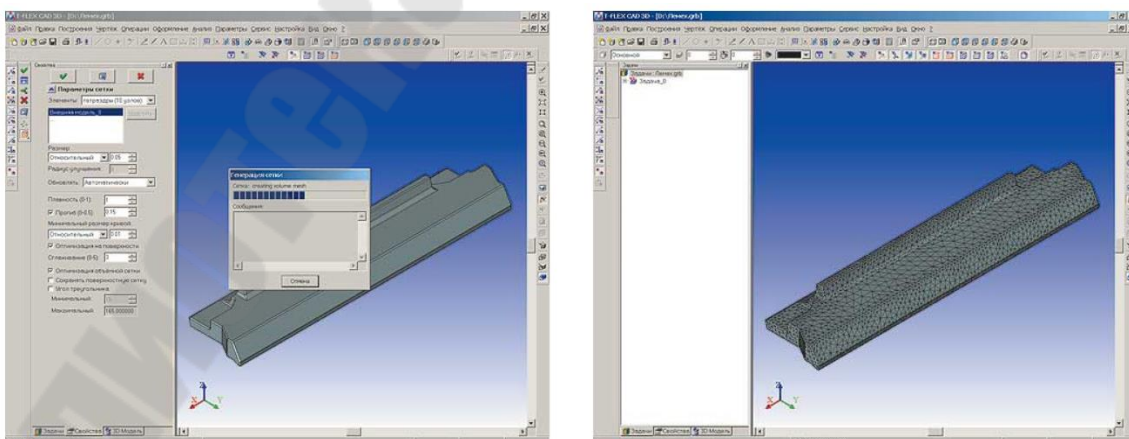
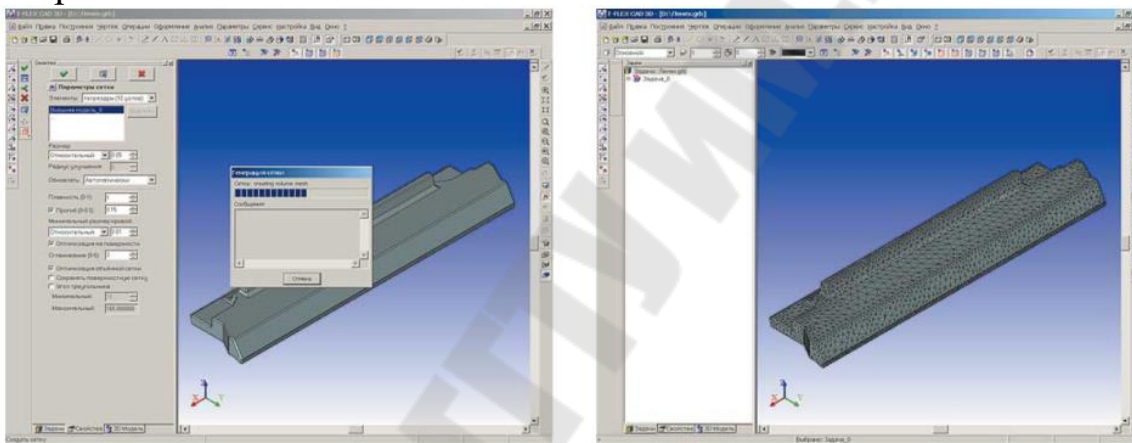


Рис. Использование пользовательских настроек шкалы для отображения результата «Коэффициент запаса прочности по напряжениям» и зондирование значения результата

Примечательно, что зондирование работает и для режима отображения деформированного состояния модели. Такой режим поддерживается далеко не всеми системами конечноэлементного анализа.

$$\sigma_{\text{экв max}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} = 9,74 \text{ МПа}$$

«Создание отчета» – результаты решения задачи могут быть сохранены в html формате в виде независимого электронного документа *рис.* ). Это позволяет обеспечить просмотр и изучение результатов анализа без непосредственного использования приложения T FLEX Анализ. Например, расчетчик может сформировать отчет по результатам решения задачи и передать его своему непосредственному руководителю или заказчику для обоснования принятых конструкторских решений.



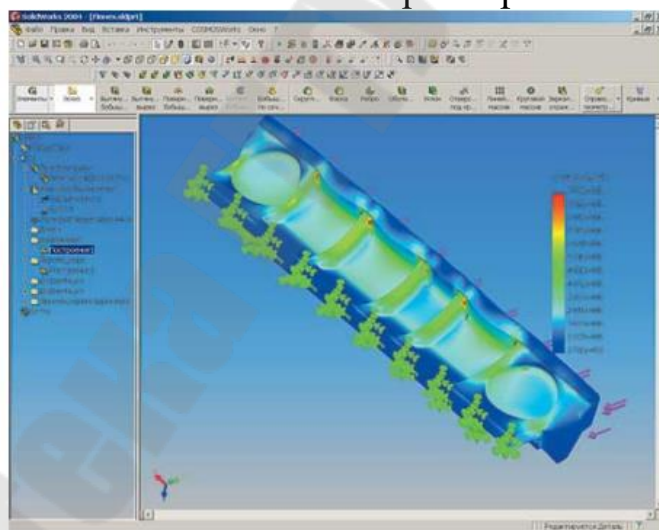
*Рис.* Использование команды «Отчет» для генерации отчета по результатам решения задачи

После краткого обзора возможностей постпроцессора T Анализ вернемся к оценке прочности нашей детали «лемех». *На рис.* видно, что результаты расчета линейным и квадратичным элементами тетраэдра качественно очень близки, то есть раскраска полей перемещений и напряжений в обоих расчетах почти не различается. Однако с количественными значениями максимумов перемещений дело обстоит иначе. Максимальное перемещение при расчете лемеха линейным тетраэдром составляет лишь 70% от максимума перемещения при расчете квадратичным элементом. С напряжениями ситуация обстоит еще хуже. При расчете линейным элементом они почти в два раза меньше, чем при расчете квадратичным. Эти результаты закономерны. Линейный тетраэдр слишком «жесткий» для количественного моделирования задач упругости, поэтому количественную оценку

всегда нужно производить с использованием более точного квадратичного элемента. Оценим прочность детали «лемех» по отношению максимума эквивалентных напряжений к пределу текучести материала. В результате получим расчетное значение эквивалентного напряжения (см. *рис.*

Сравнивая это значение с известным пределом текучести данной стали (351 МПа), мы видим, что условие прочности выполняется с 35 кратным запасом. Для сложных случаев нагружения удобно пользоваться специальным типом результата «Коэффициент безопасности по напряжениям», чтобы получить картины распределения коэффициентов запаса по элементам конструкции (см. *рис.*

Безусловно, помимо функционального наполнения пользователя интересует достоверность получаемых в результате расчетов данных. Для сравнения выполним аналогичный расчет для детали «лемех» в системе конечноэлементного моделирования COSMOSWorks 2004 (*рис.* ). Расчет дает максимальное значение эквивалентных напряжений 9,77 МПа. Как видим, результаты расчета напряжений в FLEX Анализ и CosmosWorks практически идентичны как по качественным, так и по количественным параметрам.



*Рис.* Результаты расчета эквивалентных напряжений детали «Лемех» в системе конечноэлементного анализа COSMOSWorks

Таким образом, система конечноэлементного моделирования T FLEX Анализ позволяет пользователям популярной российской системы TFLEX CAD успешно осуществлять статические прочностные расчеты конструкций

## *Динамический анализ трехмерной модели*

Приложение TFLEX Динамика представляет собой программный модуль, интегрированный в систему TFLEX CAD, и позволяющий производить динамические расчёты и анализ пространственных механических систем.

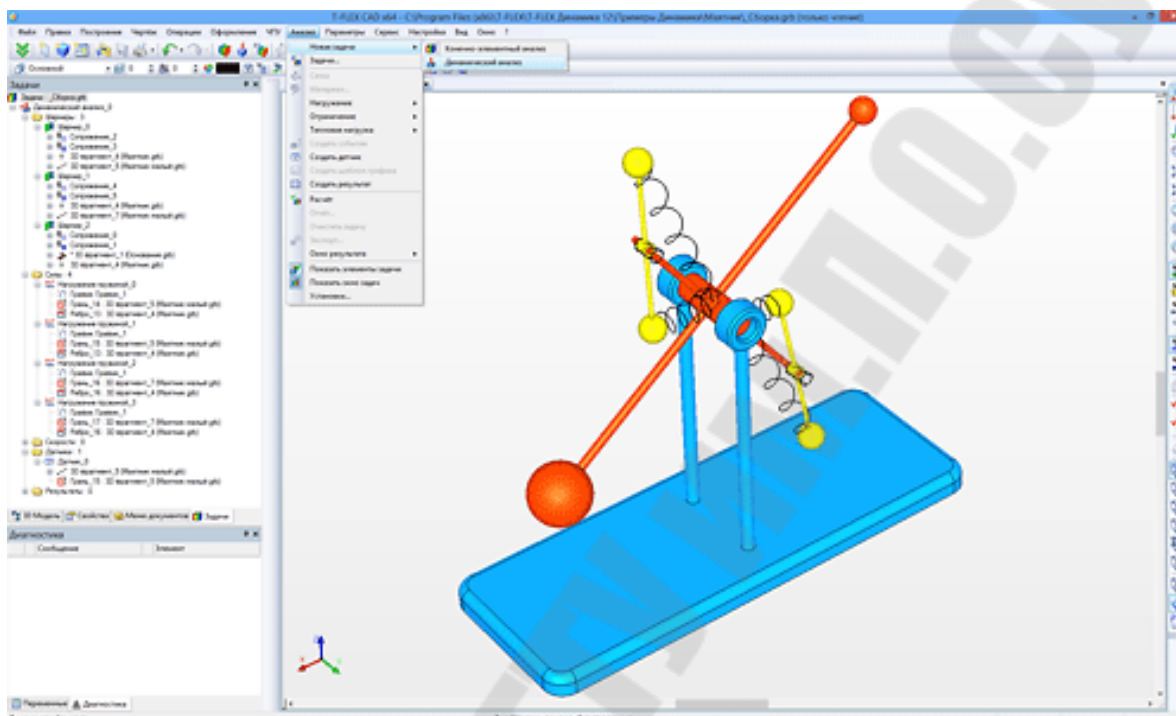


Рис. Внешний вид TFLEX Динамика

Модель механизма описывается как система твёрдых тел, шарниров и нагрузок, создаваемая на основе трёхмерной геометрической модели TFLEX CAD и сопряжений. Решатель программы учитывает массинерционные характеристики тел трёхмерной модели. Для описания системы, решаемой в модуле TFLEX Динамика, используется специальный объект модели – «Задача динамического анализа». Он содержит в себе набор элементов модели, нагрузок и других элементов, задающих их взаимодействие. В «задаче» содержатся данные, задающие направление силы тяжести, свойства элементов задачи по умолчанию (свойства шарниров, силы трения, контактные свойства), временные характеристики моделируемого процесса. Динамических задач может быть несколько. Каждая из задач может содержать свой набор элементов и граничных условий для нахождения решения в различных постановках или при различных нагрузках. Задача динамического анализа ассоциативно связана с трёхмерной моделью. При



изменении параметров или состава модели автоматически происходят соответствующие изменения и в задаче.

Для задания связей между трёхмерными телами используются сопряжения и степени свободы. На их основе система формирует список шарниров. Шарниры характеризуются геометрическими параметрами (размерами), коэффициентами трения (сухого, вязкого).

В качестве нагрузок для тел можно задать начальные линейные и угловые скорости, силы, моменты, пружины, гравитацию и т.д. Величины нагрузок могут задаваться в виде константных величин или значений переменных, а также в нелинейном виде, при помощи графических зависимостей. Кроме этого, можно задавать зависимость величины нагрузки от значения, измеряемого датчиком. К примеру, можно задать зависимость крутящего момента мотора от скорости его вращения. Данная возможность позволяет описывать динамическую систему наиболее реалистично, так как большинство взаимосвязей в механических системах являются нелинейными.

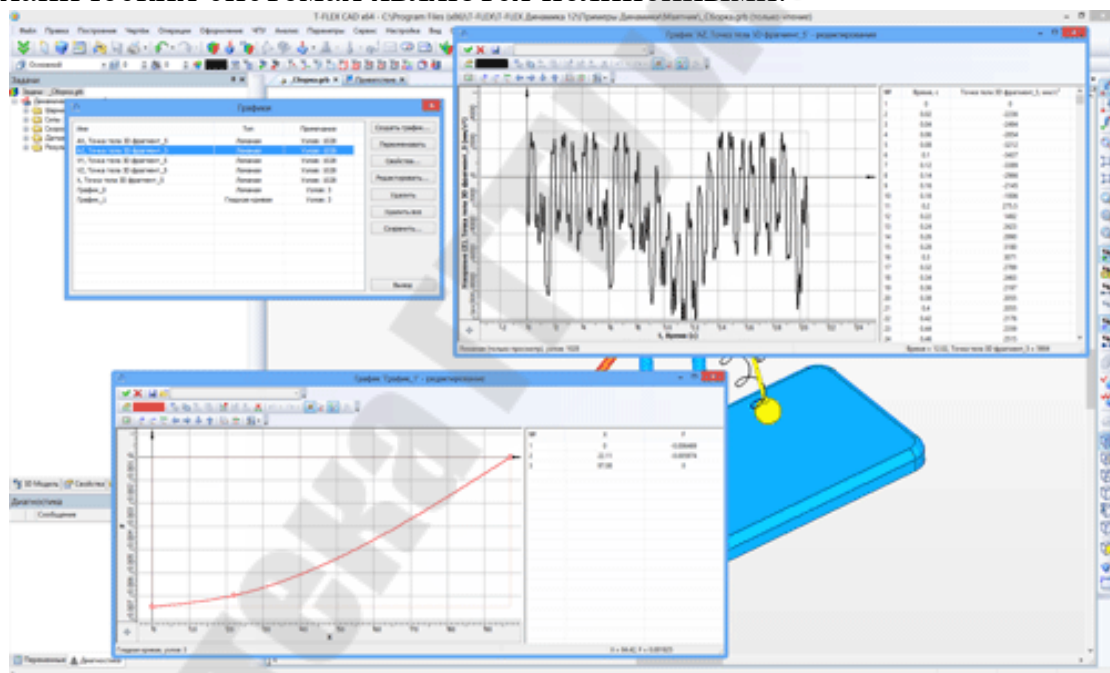


Рис. Использование графиков для задания нелинейных зависимостей и для графического представления результатов расчёта

Для исследования результатов динамического анализа в системе используются специальные элементы – «Датчики». Датчик может и измерять физические величины в конкретной точке модели, в центре тяжести тела. В системе также имеется возможность использовать датчик, измеряющий относительное положение или относительную скорость любых точек модели. Датчик может измерять также: коор-

динаты, линейные и угловые скорости, ускорения, силы реакций в шарнирах, усилия в пружинах и т.д.

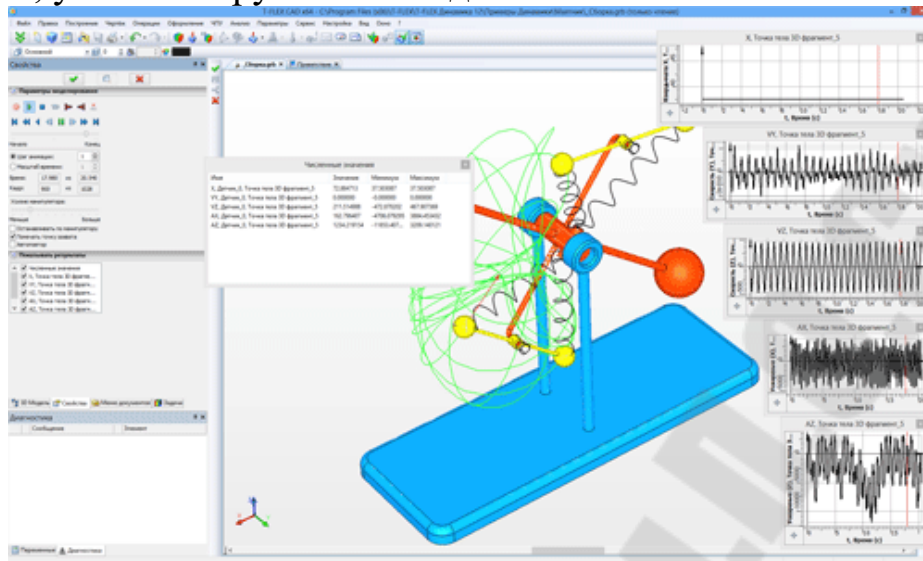


Рис. Представление при помощи датчиков траектории движения, направления величин векторов скоростей и ускорений в 3D окне

При необходимости датчик может отображать измеряемые параметры в графическом виде (в виде векторов) при расчёте задачи. Это позволяет пользователю наглядно представить процессы, происходящие при динамическом анализе.

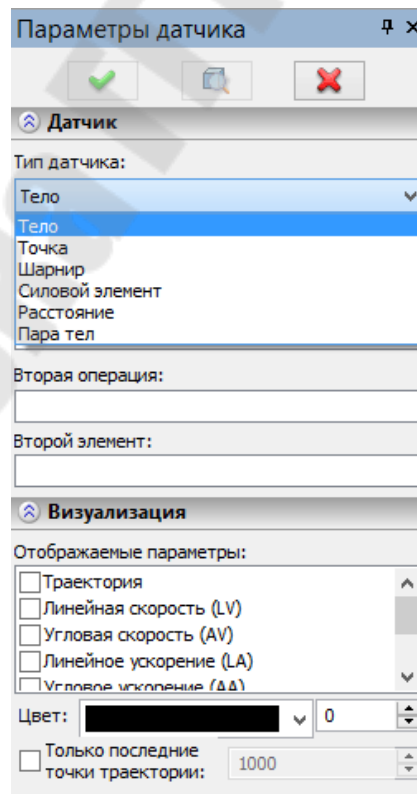


Рис. Диалог свойств датчика

При расчёте задачи динамического анализа система может учитывать контакты между твёрдыми телами. В задаче может быть задан список тел, контакт которых между собой следует учитывать. Для наиболее естественного моделирования механических систем пользователь имеет возможность задать контактные свойства материалов коэффициенты трения, коэффициенты восстановления, задающие поведение тел при ударе (отскок) и т.д.

Численные результаты динамического анализа могут быть представлены в виде графиков, которые пользователь может построить для снятия показаний датчиков. Графики показывают зависимость измеряемых величин от времени. Их можно просматривать в специальных окнах в процессе расчёта или просмотреть после расчёта в команде "Графики". Пользователь имеет возможность экспортировать рассчитанные данные в другие системы.

В процессе расчета пользователь может наблюдать за поведением модели с любой точки. Результаты анализа сохраняются в рассчитанной модели и могут быть проиграны системой в любой момент времени без необходимости расчёта. По готовым результатам динамического анализа можно создавать анимационные ролики в формате AVI с требуемой частотой кадров и заданным масштабом времени.

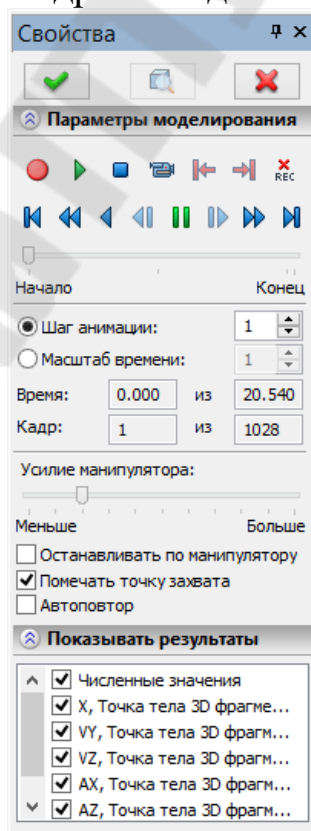


Рис. Панель управления динамического расчета

Команда «Расчёт» производит расчёт динамической модели по кадрам с одновременным выводом результатов на экран. Результатом является положение элементов модели на экране, векторы и траектории, отображаемые датчиками, изображения графиков. Команда позволяет приостанавливать и возобновлять расчёт, проигрывать рассчитанную последовательность на экране, выполнять покадровый просмотр, удалять часть рассчитанных данных и др. Уникальным инструментом в данной команде является возможность интерактивного воздействия пользователя на процесс расчёта при помощи манипулятора.

## Литература

Автоматизированное проектирование технических объектов. Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности 136 01 01 «Технология машиностроения» Составитель А.В. Петухов, старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого».

Малюх В.Н. Введение в современные САПР: Курс лекций М ДМК Пресс, –192 с.

Авлукова, Ю.Ф. Основы автоматизированного проектирования : учеб. пособие / Ю. Ф. Авлукова. –Минск : Выш. шк., 2013. – с.

Галяветдинов Н.Р. Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов : учебное пособие / Н. Р. Галяветдинов [и др.]; Мво образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. унт. –Казань : Издво КНИТУ, 2013. –112 с.

Мясников, Ю.И. Автоматизация проектирования технологических приспособлений: учебное пособие / Ю.И. Мясников.– Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. –Ч. 2. –102 с

Пелипенко, А. Б. Автореферат диссертации по приборостроению, метрологии и информационноизмерительным приборам и системам, 05.11.14, диссертация на тему: Исследование и разработка методов решения задач конструкторско технологической подготовки производства предприятий машино и приборостроения в условиях применения CAD/CAM систем. Код доступа

---

Дата доступа: 21.06.2021

Лекция3. Функциональный и структурный состав интегрированных САПР Код доступа \_\_\_\_\_  
Дата доступа: 21.06.2021

Структурный состав интегрированных САПР Код доступа

---

Дата доступа: 21.06.2021

Примеры САПР конструирования машиностроительных изделий Код доступа

Дата доступа: 21.06.2021

0 Автоматизация оформления конструкторской документации Код доступа Дата доступа: 21.06.2021

Flex CAD. Двухмерное проектирование и черчение Код доступа \_\_\_\_\_

---

Дата доступа:

Статические прочностные расчеты конструкций в среде T FLEX Анализ / Александр Сущих, Павел Ануфриков. Код доступа \_\_\_\_\_  
Дата доступа: 21.06.2021

FLEX Динамика – Анализ движения Код доступа  
<https://www.tfex.ru/products/raschet/dinam/> Дата доступа: 21.06.2021

# СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение. Основные функции САПР изготовления технологической оснастки. Состав и назначение интегрированных САПР

*1.1 Предмет, цель и задачи дисциплины*

*1.2 Особенности конструкторского проектирования в современных условиях*

*1.3 Состав задачи конструкторской и технологической подготовки производства*

*1.4 Стадии и этапы проектирования изделий*

*1.5 Методы решения конструкторских задач в существующей системе подготовки производства*

*1.6 Состав интегрированных САПР*

*1.7 Функции, характеристики и примеры систем*

2 Автоматизация конструкторского проектирования

*2.1 Классификация задач конструкторского проектирования*

*2.2 Геометрическое моделирование и синтез формы деталей*

*2.3 Имитационное моделирование машиностроительных изделий*

*2.4 Примеры САПР конструирования машиностроительных изделий*

*2.5 Автоматизация оформления конструкторской документации*

3 Двухмерное проектирование и черчение

*3.1 Настройка системы*

*3.2 Использование библиотеки*

*Построение параметрического каркаса чертежа*

*3.4 Линии построения*

*3.5 Простановка размеров, допусков формы и расположения, обозначений видов и разрезов*

*3.6 Создание анимации*

*3.7 Оптимизация чертежа*

4 Основные принципы и понятия трехмерного моделирования в Т

*4.1 Работа с окном 3D вида*

*4.2 Создание рабочих плоскостей и рабочих поверхностей*

*4.3 Использование 3D узлов и 3D профилей для создания трехмерной модели*

*4.4 Создание локальных систем координат (ЛСК)*

*4.5 Команды формообразования трехмерной модели*

**5 Трехмерное моделирование технологической оснастки.**

**Анализ геометрии**

*5.1 Методика проектирования трехмерной модели сборки*

*5.2 Адаптивные 3D фрагменты*

*5.3 Редактирование и преобразование 3D элементов*

*5.4 Создание материалов и редактирование их характеристик*

*5.5 Анализ геометрии трехмерной модели*

*5.6 Фотореалистичное отображение 3D сцены*

**6 Решение конструкторских задач с использованием конечноэлементного анализа**

*6.1 Приложение нагрузки на трехмерную модель: сила, давление, крутящий момент, вращение*

*6.2 Наложение ограничений: полное закрепление, частичное закрепление, контакт*

*6.3 Анализ трехмерной модели: статический анализ, частотный анализ, анализ устойчивости, экспрессанализ генератором конечноэлементных сеток*

*6.4 Динамический анализ трехмерной модели*

**Литература**

Учебное издание

**Петухов Александр Владимирович**

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Учебное пособие для студентов специальности  
36 01 01 «Технология машиностроения»  
дневной и заочной форм обучения**

Редактор *Н. Г. Мансурова*  
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 22.05.

Формат 60x84/(6. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 6,04. Уч. изд. л. 6,23.

Заказ № 407/29.

Издатель и полиграфическое исполнение Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого.

Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г. пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель