

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»  
Машиностроительный факультет  
Кафедра «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

СОГЛАСОВАНО  
Заведующий кафедрой  
  
«13» 05 2025 г. С. В. Монтик

СОГЛАСОВАНО  
Декан факультета  
  
«21» 05 2025 г. С. Р. Онысько

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Основы САПР»**  
(название дисциплины)

для специальности  
6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки и  
инструменты

Составитель: Кудрицкий Ярослав Владимирович, старший преподаватель

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета  
университета 26.06.2025 г., протокол № 4.

*№ № УМК 24/25-141*

## Пояснительная записка

Актуальность изучения дисциплины. Сокращение времени производственного цикла, снижение материалоемкости и энергетических затрат в совокупности с иными мероприятиями направлено на снижение издержек производства и уменьшение себестоимости изделий машиностроения. Достижение этих целей возможно при активном использовании систем автоматизированного проектирования, позволяющих значительно сократить сроки подготовки производства.

«Основы САПР» - прикладная инженерная дисциплина, в которой изучаются современные подходы при подготовке и разработке новых проектов, а также базовые приёмы работы с типовыми программными модулями для автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства в машиностроении.

### Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является ознакомление студентов с основными этапами автоматизированного проектирования в машиностроении при использовании современных САПР. Изучение возможностей интеграции программных модулей CAD/CAE/CAPP/CAM.

### *Задачи дисциплины*

Основной задачей изучения дисциплины «Основы САПР» является повышение пользовательского уровня при работе с прикладными программами машиностроительного профиля. Овладение методиками автоматизированного проектирования в машиностроении. Умение выполнять типовые этапы конструкторской и технологической подготовки машиностроительного производства с помощью САПР.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы учебно-методического обеспечения образовательного

процесса, и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» дневной и заочной форм получения образования по изучению дисциплины «Основы САПР».

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 26 июля 2011 г., № 167, и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Основы САПР» для специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты».

Цели ЭУМК:

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;
- организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Содержание и объем ЭУМК полностью соответствуют образовательным стандартам высшего образования специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», а также учебно-программной документации образовательных программ высшего образования. Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

### **Структура учебно-методического комплекса по дисциплине**

#### **«Основы САПР»:**

**Теоретический раздел ЭУМК** содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций.

**Практический раздел ЭУМК** содержит материалы для проведения лабораторных учебных занятий в виде методических указаний для выполнения лабораторных работ.

**Раздел контроля знаний ЭУМК** содержит материалы для итоговой аттестаций (вопросы и типовые задания к зачету), позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования, и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

**Вспомогательный раздел ЭУМК** включает учебную программу учреждения высшего образования по дисциплине «Основы САПР».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

- лекции проводятся с использованием представленных в ЭУМК теоретических материалов, основная часть материала представляется с использованием персонального компьютера и мультимедийного проектора; при подготовке к зачету, выполнению и защите лабораторных работ студенты могут использовать конспект лекций;
- лабораторные занятия проводятся в учебном классе, оборудованном компьютерами с использованием представленных в ЭУМК методических указаний, а также программного комплекса АСКОН (CAD-CAPP-CAM);
- зачет проводится в компьютерном классе, и включает практическую задачу, связанную с построением 3D модели типовой детали и созданием ассоциативных видов, вопросы к зачету приведены в разделе контроля знаний.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## 1. Проектирование. Типовая логическая схема проектирования

### 1.1 Основные определения процесса проектирования

Проектирование – процесс, позволяющий провести некую техническую идею до её инженерной модели. Результатом этого процесса является проект, который представляет из себя, как правило, графическую часть (чертежи, схемы) и пояснительную записку (описание назначения изделия, функции, технические характеристики и т.д.).

Алгоритм проектирования – совокупность предписаний, необходимых для выполнения проектирования. Алгоритм проектирования может быть общим (для определенного класса объектов) и специальным (для одного объекта). Под выполнением проектирования понимается нахождение результата проектирования.

Результат проектирования – проектное решение (совокупность проектных решений), удовлетворяющее заданным требованиям, необходимое для создания объекта проектирования. В заданные требования должны быть включены требования к форме представления проектного решения.

Проектное решение – промежуточное или конечное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончания проектирования.

Типовое проектное решение – уже существующее проектное решение, используемое при проектировании.

Цель процесса проектирования состоит, прежде всего, в том, чтобы на основе исходной информации, получаемой в процессе проектирования, разработать техническую документацию для изготовления объекта проектирования. Проектирование включает в себя разработку технического задания (ТЗ), отражающего потребности, и реализацию ТЗ в виде проектной документации.

Проектирование, по существу, представляет собой процесс управления с обратной связью. Техническое задание формирует входы, которые сравниваются с результатами проектирования, и если они не совпадают, цикл проектирования повторяется вновь до тех пор, пока отклонение от заданных технических требований не окажется в допустимых пределах.

Проектная процедура соответствует части проектной подсистемы, в результате выполнения которой принимается некоторое проектное решение. Она состоит из элементарных проектных операций, имеет твердо установленный порядок их выполнения и направлена на достижение локальной цели в процессе проектирования.

Под проектной операцией понимают условно выделенную часть проектной процедуры или элементарное действие, совершаемое конструктором в процессе проектирования. Примерами проектных процедур могут служить процедуры разработки кинематической или компоновочной схемы станка, технологии обработки изделий и т.п., а примерами проектных операций – расчет припусков, решение какого-либо уравнения и т.п.

## **1.2 Системы проектирования**

Процесс проектирования осуществляется системой проектирования, т.е. совокупностью взаимодействующих друг с другом проектировщиков и необходимых для проектирования технических средств.

Система – совокупность элементов, объединенных единством цели и иерархией взаимоотношений. Частью системы может быть элемент или другая система (подсистема). В технике рассматриваются сложные технические системы (стс). Понятие сложности определяется наличием подсистем (п/с) различной физической природы. Каждая подсистема может выполнять свою подцель, но в результате все они работают на единую цель всей системы.

По существу, системы проектирования могут рассматриваться как сложные человеко-машинные многоконтурные, многомерные системы управления с обратной связью, требующие сбора, передачи, переработки и использования информации для достижения цели проектирования. Они должны быть подчинены

тому или иному критерию оптимизации, например, критерию наименьшей продолжительности или максимального быстродействия при ограниченных затратах, или критерию быстрой окупаемости спроектированной системы и т.д.

Вначале термин «автоматизация проектирования» применялся во всех тех случаях, когда ЭВМ использовали для расчетов, связанных с проектированием. Но сейчас этот термин приобрел более специфический смысл, относящийся к интерактивным системам, в которых проектировщик и ЭВМ при решении задач проектирования взаимодействуют друг с другом. При помощи автоматизации проектирования результаты проектирования объектов, в которых использовались новые идеи и технические средства, могут быстро сообщаться проектировщику в удобной для него форме. Благодаря этому за короткий промежуток времени можно глубоко проникнуть в суть проблем, связанных с проектированием. Автоматизация проектирования также позволяет создавать необходимую документацию и проверять полученные результаты. Таким образом, сегодня речь идет о создании, так называемых, интеллектуальных человеко-машинных систем, в рамках которых возможно выполнение всего цикла проектных работ, начиная от научных исследований и кончая изготовлением конструкторской и технологической документации, а в ряде случаев – макетов или опытных образцов. Причем, «интеллектуальность» таких систем определяется тем, в какой степени эта система способствует раскрытию и использованию интеллектуальных возможностей человека, его знаний и опыта как специалиста, освобождая его от механической и нетворческой работы.

Проектирование – это комплекс работ по исследованию, расчетам и конструированию нового изделия или нового процесса. В основе проектирования лежит первичное описание – техническое задание.

Различают следующие системы проектирования: неавтоматизированное проектирование и автоматизированное проектирование.

Процесс проектирования, осуществляемый человеком вручную (без использования ЭВМ), называют неавтоматизированным проектированием

Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют автоматизированным проектированием.

Необходимо выделить понятие автоматического проектирования, которое остаётся для выполнения отдельных вычислительных операций, процедур, выполняемых средствами вычислительной техники согласно заложенным в них программам.

Т.о. автоматическим проектированием называют проектирование, при котором все преобразования описаний объекта и алгоритма его функционирования осуществляются без участия человека. Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных частных случаях для сравнительно несложных объектов.

### **1.3 Стадии и этапы проектирования**

Согласно стандарту выделяют следующие стадии проектирования:

1. Предпроектное исследование (выполняет заказчик). Здесь выполняется анализ потребностей внешней среды (ВС) в новом изделии, также ведется поиск возможного аналога, т.е. может быть сделан вывод о необходимости модернизации существующего изделия. Результатом является документ ИТ (исходные требования), в котором отражается информация о наличии и характеристиках изделия.

2. Разработка технического задания (ТЗ). Вообще ТЗ также должен разрабатывать заказчик на основе собственных ИТ. ТЗ содержит основные характеристики изделия: габариты, вес, энергопотребление. В составе ТЗ производится уточнение структур, функций, режимов работы будущего изделия, описываются требования к дизайну, экономическим показателям. Иногда ТЗ требует уточнения исполнителем.

3. Разработка предложения технического (ПТ) (уточненного ТЗ). Уточненное ТЗ или ПТ разрабатывает исполнитель проекта, где отражает свое видение проблемы. Результатом является документ УТЗ, который подписывается

исполнителем и заказчиком. Пункты 2 и 3 могут находиться в итерации. Бывает, что на этом процесс заканчивается, если исполнитель заказывает невозможное.

4. Эскизное проектирование (ЭП). Выполняется на основе УТЗ. Здесь моделируются отдельные принципиальные узлы будущего изделия, отрабатываются математические модели поведения. Анализируется и доказывается реальная возможность создания будущего изделия. Проводятся многовариантные испытания, часто строятся физические модели. Результатом стадии ЭП являются уточненные технико-экономические характеристики будущего изделия, принципиальный состав узлов, детализованные проработки важнейших составных частей (схемы, чертежи), ПЗ, возможно макеты. В отдельных случаях процесс проектирования может быть закончен, прерван за бесперспективностью (отрицательный результат), либо продолжен.

5. Техническое проектирование (ТП). Здесь прорабатываются полностью все компоненты изделия: дизайн корпуса, разрабатываются все части проекта. ТП содержит результаты полной параметрической оптимизации, все чертежи, схемы узлов, полное описание функционирования изделия, описание режимов работы. Результат, как правило, опытный образец изделия. Принимается решение заказчиком о возможности передачи в серийное производство. При положительном решении заказчика начинается разработка рабочего проекта (РП).

Результат – полная конструкторская документация и, как правило, опытный образец.

Проектная организация может завершить работу на стадии ТП, передав документацию заказчику, который передает в производственные предприятия (размещает заказ), где тех. проект доводят до рабочего проекта (РП).

6. Рабочее проектирование (РП). Рабочий проект – полный комплекс документов для промышленного выпуска (массовый выпуск изделия).

Этапом проектирования называют часть стадии, включающая разработку одного или нескольких аспектов будущего изделия.

## **1.4 Подходы к конструированию на основе компьютерных технологий**

Можно выделить два подхода к конструированию на основе компьютерных технологий. Первый подход базируется на двухмерной геометрической модели – ГМ и использовании компьютера как электронного кульмана, позволяющего значительно ускорить процесс конструирования и улучшить качество оформления конструкторской документации. Центральное место в этом подходе к конструированию занимает чертеж, который служит средством графического представления изделия, содержащего информацию для решения графических задач, а также для изготовления изделия. Так, с помощью вычислительной техники облегчаются:

1) оформление конструкторских документов, насыщенных изображениями стандартных, типовых, унифицированных составных частей, (например электрических и других принципиальных, функциональных схем, печатных плат, модулей, приборов, электронных блоков, стоек, шкафов, пультов и т.д.);

2) разработка текстовых документов (спецификаций, перечней элементов и др.).

В основе второго подхода лежит компьютерная пространственная геометрическая модель (ПГМ) изделия, которая является более наглядным способом представления оригинала и более мощным и удобным инструментом для решения геометрических задач. Чертеж в этих условиях начинает играть вспомогательную роль, а методы его создания основаны на методах компьютерной графики, методах отображения пространственной модели.

## **2. Системы автоматизации подготовки производства, управления производством, технической подготовки производства**

### **2.1 CAD/CAM системы**

CAD/CAM системами на западе называют то, что в России принято называть аббревиатурой САПР, то есть Системы Автоматизированного Проектирования. Впервые термин CAD прозвучал в конце 50-х гг. прошлого века в Массачусетском

технологическом институте в США. Распространение эта аббревиатура получила уже в 70-х гг. как международное обозначение технологии конструкторских работ. С началом применения вычислительной техники под словом CAD подразумевалась обработка данных средствами машинной графики. Однако этот один термин не отражает всего того, что им иногда называют. Например, САПР могут предназначаться для: черчения, для прочерчивания (эскизирования) или и для того, и для другого сразу. Многие системы САПР выполняют существенно больше функций, чем просто черчение и конструирование. Как правило, современные САПР, включают:

CAD – Computer Aided Design, или Computer Aided Drafting (проектирование и конструирование с помощью ЭВМ или черчение с помощью ЭВМ). САПР конструктора.

CAM – Computer Aided Manufacturing. (автоматизированные системы технологической подготовки производства). САПР технолога.

CAE – Computer Aided Engineering (инженерные расчёты с помощью ЭВМ, исключая автоматизирование чертёжных работ). Проведение всех необходимых расчетов в процессе анализа выполненной конструкции. Иногда этот термин использовался как понятие более высокого уровня – для обозначения всех видов деятельности, которую инженер может выполнять с помощью компьютера.

PDM – Product Data Management (управление проектными данными). Предполагает полную информационную поддержку производства. Эксплуатация, рекламация, статистика поведения изделия (сопровождение изделия)

Чаще всего говорят о системах CAD/CAM/CAE/PDM.

Использование систем автоматизированного проектирования позволяет не только снизить трудоёмкость, временные и денежные затраты, но освободить человека от большого количества однообразной работы, например, от оформления большей части документопотока.

CAD/CAM-системы находят применение в широком диапазоне инженерной деятельности, начиная с решения сравнительно простых задач проектирования и изготовления конструкторско-технологической документации и, кончая, задачами

объёмного геометрического моделирования, ведением проекта, управления распределенным процессом проектирования и т.п.

## **2.2 Комплексные автоматизированные системы**

АСП – Автоматизированная Система Планирования – здесь выполняется планирование выпуска изделий

АСНИ – Автоматизированная Система Научных Исследований – здесь выполняется исследовательская часть конструкторских и технологических работ с использованием ЭВМ. Разработка, исследование новых принципов работы изделий, поиск и анализ мировых аналогов. Основные виды работ: математическое моделирование, натурные исследования, (например, создание электромобиля – проводится анализ электродвигателя).

САПР (CAD) – Система Автоматизированного Проектирования – совокупность увязанных друг с другом моделей проектных процедур, образующих логическую схему построения объекта (проекта) на основе математических методов, информационных данных и средств ВТ.

АСТПП (CAM) – Автоматизированная Система Технологической Подготовки Производства – заключается в разработке технологии: выбор заготовки, определение технологических переходов (операций), выбор оборудования, инструмента, оснастки, вплоть до управляющих программ для станков с ЧПУ.

Ввиду большой связанности процесса САПР и АСТПП многие современные системы автоматизации охватывают весь процесс, такие системы называются CAD/CAM системы (Unigraphics)

АСУП (PDM) – Автоматизированная Система Управления Предприятием – необходима для автоматизации организационного управления на предприятии. Анализ деятельности предприятия, планирование, диспетчирование, учет, контроль. Автоматизация работ управленческого персонала. Управление финансами; управление запасами (складским хозяйством); управление снабжением (статистика закупок, контракты на закупку); маркетинг (статистика и анализ реализации, контракты на реализацию, прогноз, реклама).

АСУ ТП – Автоматизированная Система Управления Технологическим Процессом. Функциями АСУТП являются сбор и обработка данных о состоянии оборудования и протекании производственных процессов для принятия решений по загрузке станков, выполнению технологических маршрутов. Программное обеспечение АСУТП на этих уровнях представлено системой диспетчерского управления и сбора данных, называемой SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), а техническое обеспечение – персональными ЭВМ и микрокомпьютерами, связанными локальной вычислительной сетью. Для систем АСУТП характерно использование программируемых логических контроллеров (ПЛК или PLC – Programmed Logic Controller), – компьютеров, встроенных в технологическое оборудование, управляющая и вычислительная машина одновременно.

На уровне управления технологическим оборудованием в АСУТП выполняются запуск, тестирование, выключение станков, сигнализация о неисправностях, выработка управляющих воздействий для рабочих органов программно управляемого оборудования. Для этого в составе технологического оборудования используются системы управления на базе встроенных контроллеров.

### **3. Системы автоматизированного проектирования**

#### **Структура и разновидности САПР**

##### **3.1 Концепция формирования САПР, как инструмента для разработки объекта**

Согласно определению, рекомендуемому ГОСТом, САПР - это комплекс программно-технических средств автоматизированного проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации или коллективом специалистов, выполняющих проектирование.

Т.е., САПР – система, объединяющая технические средства, математическое и программное обеспечение, параметры и характеристики которых выбирают с

максимальным учетом особенностей задач инженерного проектирования и конструирования.

Целью создания САПР некоторого класса изделий является обеспечение полноты всех функций по проектированию, необходимых пользователю для получения проекта.

Конкретная САПР предназначена для решения задач в определенной предметной области (например, САПР печатных плат).

При разработке САПР выполняются следующие процедуры:

1. Проводится поиск в БД конструкторской документации известных проектных решений, аналогов изделия (проекта);
2. При необходимости проводится создание новой конструкции изделия (инженерный синтез);
3. Проводится анализ разработки на соответствие заданным требованиям (инженерный анализ);
4. Формируется конструкторская документация.

Общая схема:

Поиск  $\Rightarrow$  синтез  $\Rightarrow$  анализ  $\Rightarrow$  выпуск проектной документации

Синтез и анализ могут повторяться.

### **3.2 Разновидности САПР**

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков.

– По приложениям наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР.

1. САПР для применения в отраслях общего машиностроения (машиностроительные САПР).
2. САПР для радиоэлектроники (Electronic CAD) системы.
3. САПР в области архитектуры и строительства.

Кроме того, известно большое число более специализированных САПР, или выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь в классификации. Например, САПР больших интегральных схем, САПР летательных аппаратов, САПР электрических машин, и т.д.

– По целевому назначению различают САПР (или подсистемы САПР), обеспечивающие разные аспекты проектирования. Так, в составе машиностроительных САПР появляются CAE/CAD/CAM системы:

1. конструкторские САПР общего машиностроения, часто называемые просто CAD (Computer Aided Design) – системами (проектирование и конструирование).

2. технологические САПР общего машиностроения, иначе называемые автоматизированными системами технологической подготовки производства или системами CAM (Computer Aided Manufacturing).

3. САПР функционального проектирования, или CAE (Computer Aided Engineering) системы (инженерные расчеты). Проведение всех необходимых расчетов в процессе анализа выполненной конструкции.

4. САПР информационной поддержки производства PDM (Product Data Management) системы (управление проектными данными).

– По масштабам (комплексности решаемых задач) различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР (например, комплекс анализа электронных схем); системы ПМК; системы с уникальными архитектурами не только программного, но и технического обеспечений.

– По характеру базовой подсистемы – ядра САПР:

1) САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов.

2) САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных.

3) САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые программно-методические комплексы.

4) Комплексные (интегрированные) САПР. Состоят из совокупности подсистем предыдущих видов.

Системы Автоматизированного Проектирования (САПР) – совокупность методов автоматизированного проектирования, средств их реализации (программных, технических, информационных и др.), а также специалистов, ими владеющих.

#### **4. САПР как сложная система**

Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем.

Структурными составляющими САПР являются подсистемы, обладающие всеми свойствами системы и создаваемые как самостоятельные системы. Это выделенные по некоторым признакам части САПР, обеспечивающие выполнение некоторых законченных проектных задач с получением соответствующих проектных решений и проектных документов.

Различают подсистемы функциональные (проектирующие) и обеспечивающие (обслуживающие).

Функциональные подсистемы непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами функциональных подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

Обеспечивающие подсистемы предоставляют необходимые ресурсы для работы функциональных подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР.

Типичными обеспечивающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными, управления процессом проектирования, 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.

## 4.1 Функциональные подсистемы

Функциональные подсистемы выполняют проектные процедуры и операции, используя при этом, в общем случае, все средства обеспечивающих подсистем.

Набор функциональных подсистем, в общем случае, для каждой САПР различен и зависит от задач на решение которых ориентированна данная САПР, однако функциональные подсистемы любой САПР можно разделить на четыре основных вида и представить в виде типового набора функциональных подсистем (т.е. набора подсистем которые содержатся в любой САПР объекта):

1. ФП1 – поиск аналогов
2. ФП2 – инженерный синтез
3. ФП3 – инженерный анализ
4. ФП4 – формирование и ведение проектной документации

ФП1 – поиск аналогов разрабатываемого изделия. Аналог нового изделия – это такое известное изделие, которое отвечает большинству заданных характеристик.

Работа в ФП1 заключается в анализе существующих технических решений, находящихся в базах данных (желательно мирового уровня).

ФП2 и ФП3 – это подсистемы, обеспечивающие поиск и генерацию вариантов технического решения и определения характеристик объекта (качественных показателей). Осуществляется моделирование структуры и поведения объекта, а также оптимизация характеристик объекта. Ведется выполнение всех вычислительных процедур и процедур текущего отображения.

ФП4 – формирование и ведение проектной документации. Эта подсистема в соответствии с существующими ГОСТами и другими нормативами формирует всю необходимую проектную документацию. Ведение документации предполагает классифицированное хранение всей документации для выдачи копий, а также для возможности небольших коррекций.

В зависимости от отношения к объекту проектирования различают два вида функциональных подсистем:

5. объектно-ориентированные (объектные);

б. объектно-независимые (инвариантные).

К объектным подсистемам относят подсистемы, выполняющие одну или несколько проектных процедур или операций, непосредственно зависящих от конкретного объекта проектирования. Например, подсистема проектирования технологических систем; подсистема моделирования динамики, проектируемой конструкции и др.

К инвариантным подсистемам относят подсистемы, выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции. Например, подсистема расчетов деталей машин; подсистема расчетов режимов резания; подсистема расчета технико-экономических показателей и др.

Процесс проектирования реализуется в функциональных подсистемах в виде определенной последовательности проектных процедур и операций.

#### **4.2 Обеспечение САПР – виды, назначение**

Структурное единство подсистем САПР обеспечивается строгой регламентацией связей между различными видами обеспечения, объединенных общей для данной подсистемы целевой функцией.

Согласно видам обеспечения выделяют соответствующие обеспечивающие подсистемы (ОП).

Принято выделять 7 видов обеспечения:

- математическое;
- программное;
- информационное;
- лингвистическое;
- техническое;
- инструктивно-методическое;
- организационно-технологическое;

Математическое обеспечение (МО) – совокупность математических моделей, методов решения, алгоритмов для решения задач САПР, а также совокупность специалистов, владеющих этими методами или способных разработать новые методы.

Лингвистическое обеспечение (ЛО) – совокупность языков, используемых для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования.

Программное обеспечение (ПО) – совокупность программ на машинных носителях и соответствующей документации, реализующих задачи САПР. ПО делится на общесистемное, базовое и прикладное. Общесистемное – ОС, оболочки и среды (не отражают спецификации САПР). Базовое ПО – мониторинговая система – комплекс программ, управляющих прикладным ПО. Прикладное ПО – обычно набор пакетов прикладных программ, предназначенных для реализации тех или иных проектных процедур.

Информационное обеспечение (ИО) – совокупность справочных данных, необходимых в данной предметной области. В БД хранится эта информация, которую можно записывать, а затем извлекать. Пополнение БД выполняется специалистами при обслуживании САПР.

Техническое обеспечение – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств для ввода, хранения, переработки, передачи программ и данных.

Инструктивно-методическое обеспечение (ИМО) – совокупность документов, характеризующих состав, функционирование и правила эксплуатации САПР (содержит последовательную методику решения задач проектирования и использования пакета).

Организационно – технологическое обеспечение (ОТО) – совокупность документов, включающих положения, квалификационные требования, штатные расписания, инструкции, приказы и т.д. ОТО регламентирует взаимодействие проектной организации с комплексом средств автоматизированного проектирования.

Функционирование САПР возможно только при наличии и взаимодействии всех перечисленных обеспечивающих подсистем.

## **5. Математическое Обеспечение САПР**

### **5.1 Состав и функции МО САПР**

Математическое обеспечение (МО) включает в себя математические модели (ММ), методы и алгоритмы, необходимые для выполнения автоматизированного проектирования.

Математическое обеспечение САПР реализуется в виде программ и сопровождающей документации. На основе математического обеспечения решаются все задачи в САПР: постановка проблемы, организация вычислительного процесса и диалога человек – ЭВМ, анализ, синтез, техническое проектирование и т.д. Математическое обеспечение САПР делят на две основные составляющие: обслуживающую (общую) и проектирующую (специальную).

Обслуживающая составляющая математического обеспечения САПР содержит средства:

- о описания графических образов, накопления библиотек типовых изображений, редактирования, преобразования, называемые математическими средствами машинной графики;

- о обработки информационных массивов – методы сортировки, поиска элементов, преобразования структур и поиска данных;

- о обеспечения вычислительного процесса САПР;

- о сбора статистики параметров получаемых решений.

Количество частей обслуживающей составляющей математического обеспечения САПР увеличивается вместе с прогрессом теории и практики САПР.

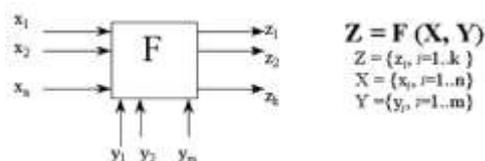
Проектирующая или специальная составляющая математического обеспечения САПР содержит средства решения прикладных задач, на которые ориентирована САПР. Решение прикладных задач основывается на математическом моделировании объектов проектирования.

## 5.2 Общая модель объекта проектирования

Исторически известны два метода исследования: экспериментально – наблюдательный и теоретико – логический. Однако в САПР и кибернетике в целом, используют третий метод – моделирование. По сути это метод экспериментально–наблюдательный, но эксперименты проводятся не с реальным объектом, а с его моделью, которая проще и доступнее чем объект.

Модель – это система математических зависимостей, алгоритм или программа имитирующие структуру или функции исследуемого объекта. Модель в процессе изучения замещает объект оригинал, сохраняя его наиболее важные черты. Моделирование – представление различных характеристик поведения физической или абстрактной системы с помощью другой системы.

В САПР модели представляют в виде алгоритмов решения задач, а затем – в виде программ. Модели сложных объектов расчленяются на частные подмодели, разбиваются на более простые, отражающие отдельные стороны функционирования объекта (т.е. подвергаются декомпозиции на частные модели). Каждая частная модель представляет собой некоторое математическое преобразование (5.2.1.):



где  $Z = \{z_i, i=1..k\}$  – совокупность выходных параметров модели;

$F$  – оператор (модель) преобразования ( $F$  – функция от входных переменных);

Вектор  $X = \{x_i, i=1..n\}$  – совокупность внешних параметров, приходящих из модели более общей системы;

Вектор  $Y = \{y_i, i=1..m\}$  – совокупность входных управляемых параметров модели, которыми может оперировать конструктор в процессе проектирования. Управляемые входные параметры могут меняться в заданных пределах, т.е. на них накладываются так называемые параметрические ограничения:

$$\{u_{iH} \leq u_i \leq u_{iB}, i=1..m\} \quad (5.2.2.)$$

$u_{iH}$  и  $u_{iB}$  – нижний и верхний пределы;

Математическое обеспечение САПР включает в себя математические модели и методики построения математических объектов проектирования и алгоритмов их решения. Методы МО используются для формализованного представления объекта проектирования в виде математических моделей, а методики и алгоритмы – при реализации конкретных алгоритмов решения задач проектирования с использованием математических моделей.

В дальнейшем по мере развития системы САПР математическое обеспечение будет пополняться новыми, необходимыми для описания процесса и объектов проектирования методами, методиками и алгоритмами.

### 5.3 Задачи анализа, оптимизации и синтеза

Известны три основных постановки задачи проектирования:

В первом случае заданы параметрические ограничения (5.2.2.) и модель (оператор) преобразования  $F$ , т.е. заданна полная система математических операций, описывающая численные или логические соотношения между множеством  $X$  и  $Y$  для получения  $Z$ . Требуется найти значение вектора  $Z$  для любого  $Y$ , удовлетворяющего ограничениям (5.2.2.) и вектору  $X$ . Это задача анализа. Она сводится к выполнению расчётов по формуле (5.2.1)

Во втором случае заданы ограничения (5.2.2.), математическая модель (оператор)  $F$ , а также заданы функциональные ограничения вида:

$$\{Q_{jH} \leq Q_j(X, Y) \leq Q_{jB}, j=1..p\} \quad (5.3.1.)$$

где  $Q_j(X, Y)$  – некоторая функция от параметров модели, называемая критерием качества модели (оценка характеристик изделий, например по стоимости, по помехозащищённости и др.);  $Q_{jH}$  и  $Q_{jB}$  – нижний и верхний пределы.

$$Q_j(X, Y) \rightarrow \text{extr}$$

Каждая модель оценивается некоторой совокупностью критериев качества (их число обозначено через  $p$ ). Критерии качества дают численное представление о степени соответствия изделия его назначению.

В выражение (5.3.1.) помимо упомянутых критериев качества могут входить функциональные ограничения, характеризующие просто зону работоспособности модели (изделия). Например, по выходным параметрам:

$$\{z_i^{\text{н}} \leq z_i \leq z_i^{\text{в}}, i=1..l\} \quad (5.3.2.)$$

где  $l$  – число выходных параметров, на диапазон возможных изменений которых наложены ограничения.

В этом случае приходим к задаче оптимального проектирования, которую можно сформулировать следующим образом. В  $M$ -мерном пространстве управляемых параметров найти такое множество точек  $G$ , которому соответствовало бы в  $p$ -мерном пространстве критериев множество точек  $s$ , причем для каждой точки множества  $s$  выполнялось бы соотношение (5.3.1.). При сформулированном подходе любая точка множества  $G$  допускает решение. Поэтому  $G$  называют множеством допустимых решений. В результате решения находим вектор  $Z$ , отвечающий требованиям оптимальности.

В третьем случае – задача синтеза – при заданных  $X$  и параметрических ограничениях (5.2.2.) не задан оператор преобразования  $F$ , не известна математическая зависимость между совокупностью входных и выходных параметров. Требуется найти такое преобразование  $F$ , при котором выполнялись бы функциональные ограничения вида (5.3.1.).

Синтез технических объектов нацелен на создание новых вариантов конструкций изделий, а анализ на оценку этих вариантов. Синтез и анализ выступают в процессе проектирования в единстве, итерационной последовательности. При синтезе заранее заданы: допустимый набор используемых элементов, накапливаемых в БД, либо стандартные детали механических конструкций. Различают структурный синтез, т.е. поиск оптимальной или рациональной структуры (схемы) технического объекта, говорят в рамках выбранного принципа действия. Например это задача размещения

микросхем на печатной плате. Параметрический синтез – определение наилучших динамических параметров при выбранной структуре.

#### 5.4 Задачи структурного и параметрического синтеза

Общая постановка задачи структурного и параметрического синтеза.

Результатирующее проектное решение (при конструкторском проектировании) ищется на множестве структур  $A$ , которые способен создать проектировщик, а также на множестве варьируемых параметров  $Y$ . Здесь  $A$  и  $Y$  образуют множество альтернатив, на которых ищутся решения. Тогда общая форма задачи синтеза ставится так:

$$P = \{A_0 \in A, Y_0 \in Y\}$$

Поиск при заданных ограничениях

$$\{G_{j_0}^n \leq G_{j_0} \leq G_{j_0}^e\}; \quad j = \overline{1, k}, \quad \text{где } G_{j_0}(A_0, Y_0, X)$$

для достижения экстремума функции.

Таким образом, техническое решение представляет собой некоторую структуру и, найденную на множестве структур и параметров, отвечающих ограничениям в среде функционирования  $X$ .

Процедуры структурного и параметрического синтеза.

Процедуры синтеза выполняются на основе математической модели, являющийся математическим аналогом проектируемого объекта. Степень адекватности (соответствия) модели реальному (будущему) объекту определяется начальной постановкой. Процедуры синтеза и анализа итерационны и образуют два вложенных цикла:

- внешний – структурный цикл;
- внутренний – параметрический цикл.

$V_p, V_c$  – вариация пар (структур).

Процедура выбора заключается в выборе некоторых данных для отобранной структуры, на основе чего и строится математическая модель. Основными показателями при реализации цикла является показатель модели, т.е. время реализации одного модельного эксперимента по расчету критериальных

показателей при заданном векторе варьируемых параметров. Это модельное время.

Используются различные методы для варьирования значений параметров, в том числе:

а) полный перебор (сканирование), при котором задается верхние и нижние значения параметров и задается  $\Delta u_i$

б) метод случайного поиска.

Внешний цикл – это перебор структур, часто он делается вручную.

Точка 1 – выход – найдено проектное решение.

Точка 2 – при неблагоприятном исходе, т.е. невозможности найти решение на обозримом числе структур в пределах заданного пространства поиска система выводит на точку 2 процедуру принятия решения. Здесь существует 2 альтернативы принятия решения:

1 альтернатива проектировщика: перенос ряда независимых параметров  $X$  (внешних ограничений) в число варьируемых параметров  $Y$ ;

2 альтернатива заказчика: уступки заказчика – снижение требований на ряд некоторых качественных характеристик

Если альтернатива 1 – это уступка нам со стороны смежных проектировщиков, то 2 – это уступка заказчика.

## 5.5 Задачи оптимизации

Задача повышения эффективности технологических и организационных систем (например: металлорежущего станка, автоматической линии, производства в целом) путём принятия обоснованных решений актуальна во всех областях деятельности человека. Количественная оценка эффективности может быть получена при заданной цели функционирования системы, с учётом ограничений на ресурсы, привлекаемые для достижения цели. При этом задача принятия решения ставится как задача выбора параметров системы, обеспечивающих максимизацию или минимизацию целевой функции. Последняя количественно определяет степень достижения цели – величину критерия оптимизации. В качестве критерия можно принять, например, себестоимость изделия (цель-

минимизация), быстродействие машины или прибора (цель-максимизация) и другие показатели.

В процессе оптимизации, с учетом заданных условий, отыскиваются элементы решения, т.е. те параметры системы и показатели качества, которые зависят от выбора и приводят к отыскиванию оптимальных конструкций, технологических схем и др.

Всякая оптимизационная задача предполагает заданной целевую функцию – количественный показатель качества альтернатив выбора. Обычно в задачах оптимизации отыскивается экстремум интегрального показателя, который представляется одной функцией  $f(X)$  нескольких переменных, заданной в некоторой области допустимых значений переменных.

Наименьшее или наибольшее значения целевой функции из всех возможных в заданной области  $R$  называются глобальными экстремумами. Значение  $X$ , при котором достигается глобальный экстремум, называется точкой глобального экстремума. Локальный экстремум функции  $f(X)$  – значение  $f(X^0)$  этой функции такое, что для любого  $X$  из  $R$ , близкого к  $X^0$  из  $R$ , справедливо  $f(X^0) \geq f(X)$  (локальный максимум) или  $f(X^0) \leq f(X)$  (локальный минимум).

Обоснованное применение количественных методов для принятия решений – оптимизацию поведения структур систем называют исследованием операций (ИСО). Здесь операция – комплекс целенаправленных действий.

Задача, рассмотренная выше, решается с применением математической модели системы, объединяющей упомянутые ограничения на ресурсы и целевую функцию. Нахождение величин упомянутых параметров системы (они входят в математическую модель как неизвестные) путём решения математической задачи называют математическим программированием. Математическое программирование – важнейшая область математики, ориентированная на широкое применение компьютеров.

В зависимости от характера целевой функции, а также ограничений могут использоваться различные методы оптимизации (математического программирования): линейное программирование, нелинейное программирование

(хотя бы одна из функций нелинейна по X), целочисленное линейное программирование, динамическое программирование и др.

## 5.6 Задачи линейного программирования

Одним из разделов математического программирования является линейное программирование. В моделях линейного программирования так называемая «основная задача» состоит в нахождении неотрицательного решения системы линейных уравнений или неравенств (ограничений), которое минимизирует или максимизирует линейную форму (целевую функцию). Математическая задача линейного программирования записывается в сокращённом виде следующим образом:

$$\begin{array}{l} \text{найти} \\ \text{при ограничениях типа} \end{array} \left. \begin{array}{l} \{x_j \geq 0\}, j = \overline{1, n} \\ \left. \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i, (i = \overline{1, m_1}), \\ \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i, (i = \overline{m_1+1, m_2}), \\ \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i, (i = \overline{m_2+1, m}), \end{array} \right\} \end{array} \right\} (4.6.1)$$

которые минимизируют (или максимизируют) целевую функцию:

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j. \quad (4.6.2)$$

Геометрическая интерпретация задачи ЛП

Задача линейного программирования геометрически может быть проиллюстрирована следующим образом.

Пусть необходимо найти минимум целевой функции:

$$z = 2x_1 + 3x_2$$

При ограничениях:

$$\left. \begin{array}{l} x_1 + x_2 \leq 4, \\ x_1 + 5x_2 \geq 4, \\ 6x_1 + 2x_2 \geq 8, \\ x_1 \leq 3, \\ x_2 \leq 2 \end{array} \right\}$$

Переменные  $x_1$  и  $x_2$  должны быть неотрицательными.

Поэтому множество точек, являющихся возможными (допустимыми) решениями, может находиться в первом квадранте (см. рис. 4.6.1.). Неравенства–ограничения изображены в виде полуплоскостей, границами которых являются прямые (графики функций), полученные из неравенств путём отбрасывания знаков  $>$ ,  $<$ . Полуплоскости образуют выпуклый многоугольник (многоугольник решений – симплекс).

Линейная форма (линия уровня) для некоторого набора фиксированных значений переменной  $z$  представляет собой семейство параллельных прямых. Одна из них, которая пройдёт через вершину многоугольника «М», ближайшую к началу координат и даст минимум  $z$  (для координат вершины).

Графический способ решения (перемещение графика целевой функции по симплексу) приемлем только для двухмерных задач (задач на плоскости). Но геометрическое толкование задачи линейного программирования справедливо и для общего случая ( $m$  ограничений и  $n$  переменных). Каждое из соответствующих неравенству уравнений системы определяет некоторую гиперплоскость в  $n$  – мерном пространстве. Множество неотрицательных решений образует выпуклый многогранник в  $n$  – мерном пространстве. Линейная форма  $z$ -гиперплоскость, перемещая которую параллельно самой себе, будем получать множество точек пересечения её с выпуклым многогранником. Максимальное или минимальное значение линейной формы  $z$  достигается в точках, являющихся вершинами выпуклого многогранника.

В силу трудности решения задачи графическим способом в случае  $m$  ограничений и  $n > 2$  переменных применяют другие методы решения задачи ЛП. Наиболее распространённым и удобным является симплекс метод решения задачи ЛП.

Для решения задачи линейного программирования симплекс-методом применяется специальный аппарат формальных преобразований математической модели. Рассмотрим некоторые его положения. Пусть задана основная задача линейного программирования (см. (4.6.1.) и (4.6.2)). Введя в левую часть каждого



Основные (зависимые, несвободные) переменные будем называть базисными, неосновные (независимые, свободные) – небазисными переменными.

Можно составить бесчисленное множество различных наборов значений независимых переменных. Из всех этих решений в линейном программировании нас будет интересовать так называемые допустимые базисные решения.

Допустимое базисное решение системы линейных уравнений при  $m < n$  – это такое решение, в котором неосновным (независимым, небазисным) переменным даны нулевые значения, а значения базисных переменных являются неотрицательными (решение на грани или вершине симплекса).

В теории линейного программирования доказывается, что если оптимальное решение задачи существует, то оно совпадает по крайней мере с одним из допустимых базисных решений.

Поиск и направленные переходы от одних допустимых базисных решений к другим с целью определения оптимального решения может быть выполнен численным методом. Один из них рассмотрим ниже.

Рассмотрим вычислительные и логические процедуры, обеспечивающие поиск решения задачи линейного программирования симплекс-методом. Процедуры поясняются в процессе решения конкретной задачи: найти совокупность значений, удовлетворяющих системе неравенств:

Таким образом, идея симплекс-метода преобразования модели заключается в таком интерактивном направленном переходе от одного допустимого базисного решения к другому, при котором последовательно улучшается значение линейной формы.

Симплекс-метод является наиболее распространенным универсальным методом. Существует несколько вариантов этого метода, рассмотрим один из них.

Необходимо предварительно выполнить следующие этапы:

- привести математическую модель к каноническому виду;
- определить начальное допустимое базисное решение задачи;

Пример:

$$L=3x_1+2x_2 \rightarrow \max$$

$$x_1 - x_2 \leq 2,$$

$$2x_1 + x_2 \leq 6,$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Приведем заданную модель к каноническому виду, введя свободные переменные  $x_3$  и  $x_4$ , превращающие неравенства в равенства. Переменные  $x_3$  и  $x_4$  входят в уравнение с коэффициентом единица и только один раз:

$$L = 3x_1 + 2x_2 \rightarrow \max$$

$$x_1 - x_2 + x_3 = 2,$$

$$2x_1 + x_2 + x_4 = 6,$$

$$x_j \geq 0$$

где  $x_3, x_4$  - дополнительные переменные,  $x_1, x_2$  - свободные переменные,  $A_3, A_4$  - начальный базис,  $A_0$  - вектор ограничений.

Составим симплекс – таблицу, соответствующую каноническому виду:

Табл. 0			0	3	2	0	0	q
i	Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	
1	0	A3	2	1	-1	1	0	2 / min
2	0	A4	6	2	1	0	1	3
	D		0	-3	-2	0	0	
	Z		0	0	0	0	0	
				Ymin				

Элементы строки D рассчитываем по формулам:

$$\Delta_1 = \sum_{i=1}^2 c_i a_{i1} - c_1 = 0 \cdot 1 + 0 \cdot 2 - 3 = -3;$$

$$\Delta_2 = \sum_{i=1}^2 c_i a_{i2} - c_2 = 0 \cdot (-1) + 0 \cdot 1 - 2 = -2;$$

$$\Delta_3 = \sum_{i=1}^2 c_i a_{i3} - c_3 = 0 \cdot 1 + 0 \cdot 0 - 0 = 0;$$

$$\Delta_4 = \sum_{i=1}^2 c_i a_{i4} - c_4 = 0 \cdot 0 + 0 \cdot 1 - 0 = 0;$$

Для базисных переменных оценки всегда равны нулю.

Значение критерия для данного начального базиса будет равно нулю:

$$L = \sum c_i a_i = 0 \cdot 2 + 0 \cdot 6 = 0;$$

Так как имеются  $D_j < 0$  приступаем к улучшению плана.

Первая итерация

В базис вводим вектор A1, которому соответствует минимальное значение  $D_j$ . Из базиса выводим вектор A3, так как минимальное  $q$  достигается при  $i=3$ .

$$\theta = \min \left\{ \frac{a_{30}}{a_{31}}, \frac{a_{40}}{a_{41}} \right\} = \min \left\{ \frac{2}{1}, \frac{6}{2} \right\} = 2;$$

Таким образом, элемент  $a_{31}$  будет направляющим (в таблице выделен зеленым цветом).

Заполняем таблицу, соответствующую новому базисному решению.

Все элементы  $a_{ij}$  таблицы определяются по следующему рекуррентному соотношению:

где  $a_{kr}$  - направляющий элемент,  $l$  – номер итерации

Табл. 1			0	3	2	0	0	q
i	Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	
1	3	A1	2	1	-1	1	0	-
2	0	A4	2	0	3	-2	1	$2/3 \cdot \bar{U}_{\min}$
	D		6	0	-5	3	0	
	Z		6	3	-3	3	0	
					$\bar{Y}_{\min}$			

Приведем расчет нескольких элементов таблицы:

$$a_{40}^{(2)} = a_{40}^{(1)} - \frac{a_{30}^{(1)} a_{41}^{(1)}}{a_{31}^{(1)}} = 6 - \frac{2 \cdot 2}{1} = 2;$$

$$a_{43}^{(2)} = a_{43}^{(1)} - \frac{a_{33}^{(1)} a_{41}^{(1)}}{a_{31}^{(1)}} = 0 - \frac{2 \cdot 1}{1} = -2;$$

Элемент  $a_{42}=3$  является направляющим (в таблице выделен зеленым цветом).

Так как в строке оценок полученного нового плана имеется отрицательное значение  $D_j$ , приступаем ко второй итерации, продолжая улучшать план.

Вторая итерация

Табл. 2			0	3	2	0	0	q
---------	--	--	---	---	---	---	---	---

i	Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	
1	3	A1	8/3	1	0	1/3	1/3	8
2	2	A2	2/3	0	1	-2/3	1/3	-
	D		28/3	0	0	-1/3	5/3	
	Z		28/3	3	2	-1/3	5/3	
						Ÿmin		

Элемент  $a_{13} = 1/3$  является направляющим (в таблице выделен зеленым цветом).

### Третья итерация

Табл. 3			0	3	2	0	0
i	Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4
1	0	A3	8	3	0	1	1
2	2	A4	6	2	1	0	1
	D		12	1	0	0	2
	Z		12	4	2	0	2

Поскольку все  $D_j \geq 0$ , то план представленный в данной таблице будет оптимальным.

Ответ:  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 6$ ;  $x_3 = 8$ ;  $x_4 = 0$ ;  $L = 12$ ;

Если в системе ограничений имеются неравенства вида  $>$  и / или  $=$ , начальный план не может быть найден так же просто, как в рассмотренном примере. В таких случаях начальный план отыскивают с помощью искусственных переменных.

Пример: Найти максимум функции

$$L = 2x_1 + 3x_2 - 5x_3;$$

при ограничениях:

$$2x_1 + x_2 - x_3 \leq 7,$$

$$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 6,$$

$$x_1 + 4x_2 = 8,$$

$$x_j \geq 0$$

Вводим в систему три искусственные переменные:  $x_6$ ,  $x_7$ ,  $x_8$ , позволяющие получить начальный базис.

Для исключения из базиса этих переменных последние вводятся в целевую функцию с большим отрицательным коэффициентом  $M$  (в задаче минимизации – с положительным  $M$ )

$$L\phi = L - M \cdot x_6 - M \cdot x_7 - M \cdot x_8 \rightarrow \max$$

при ограничениях

$$2x_1 + x_2 - x_3 - x_4 + x_6 = 7,$$

$$x_1 + 2x_2 + x_3 - x_5 + x_7 = 6,$$

$$x_1 + 4x_2 + x_8 = 8,$$

$$x_j \geq 0$$

Выбрав в качестве начального базиса векторы  $A_6, A_7, A_8$ , решаем полученную задачу с помощью табличного симплекс-метода.

Если в оптимальном решении такой задачи нет искусственных переменных, это и есть оптимальное решение исходной задачи.

Если же в оптимальном решении данной задачи хоть одна из искусственных переменных будет отлична от нуля, то система ограничений исходной задачи несовместна и исходная задача не разрешима.

Табл 0		0	2	3	-5	0	0	-M	-M	-M	q
Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
-M	A6	7	2	1	-1	-1	0	1	0	0	7
-M	A7	6	1	2	1	0	-1	0	1	0	3
-M	A8	8	1	4	0	0	0	0	0	1	$2\bar{U}_{\min}$
	D	-21M	-4M	-7M	5	M	M	0	0	0	
			-2	-3							
				$\bar{Y}_{\min}$							

Элемент  $a_{82}=4$  является направляющим (в таблице выделен зеленым цветом).

Столбцы, соответствующие искусственным переменным по мере вывода из базиса из расчета исключаются.

Табл		0	2	3	-5	0	0	-M	-M	q
1	базис	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	
-M	A6	5	7/4	0	-1	-1	0	1	0	$20/7\bar{U}_{\min}$

-M	A7	2	1/2	0	1	0	-1	0	1	4
3	A2	2	1/4	1	0	0	0	0	0	8
	D	-	-9M/4-	0	M+5	M	M	0	0	
		7M+6	3/4							
			Ÿmin							

Элемент  $a_{b1}=7/4$  является направляющим (в таблице выделен зеленым цветом).

Табл 2		0	2	3	-5	0	0	-M	q
Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
2	A1	20/7	1	0	-4/7	-4/7	0	0	-
-M	A7	4/7	0	0	9/7	2/7	-1	1	4/9Ÿmin
3	A2	9/7	0	1	1/7	1/7	0	0	9
	D	-4M/7	0	0	-9M/7	2M/7	M	0	
		+67/7			+30/7	-5/7			
					Ÿmin				

Направляющий элемент  $a_{73}=9/7$  (в таблице выделен зеленым цветом).

Табл 3		0	2	3	-5	0	0
Csi	базис	A0	A1	A2	A3	A4	A5
2	A1	28/9	1	0	0	0	-4/9
-5	A3	4/9	0	0	1	2/9	-7/9
3	A2	11/9	0	1	0	-1/9	1/9
	D	23/3	0	0	0	23/9	30/9

Найдено оптимальное решение, так как все оценки неотрицательные и в базисе нет искусственных переменных:

$$x_1=28/9, x_2=11/9, x_3=4/9, x_4=0, L=23/3.$$

# **ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

Лабораторная работа №1

## **Создание параметрических эскизов**

**в редакторе КОМПАС-3D**

Цель работы: приобретение навыков создания параметрических эскизов, освоение принципов использования привязок, переменных и выражений.

### **краткие теоретические сведения**

Характерной особенностью современного машиностроения является повышение степени гибкости и возможности быстро перенастраиваться на выпуск разнообразной номенклатуры изделий. В пределах группы деталей определённого класса принципиальных отличий обычно не бывает. В основном детали группы отличаются размерами конструктивных элементов. Часто, обработка типовых деталей выполняется по схожей технологии. Поэтому, с учётом того, что существуют «сквозные» САПР, целесообразно выполнять формализованное изменение размеров конструктивных элементов типовых деталей на этапе конструкторской подготовки производства. Понятие «сквозная» САПР предполагает связь модулей CAD (Computer Aided Design), CAPP (Computer Automated Process Planning) и CAM (Computer Aided Manufacturing). Наличие связи между модулями обеспечивает возможность прямого обмена необходимыми данными. Так, например, данные о размерах и качествах каждого конструктивного элемента могут быть получены с чертежа или эскиза, и связаны с соответствующими переходами технологического процесса обработки детали. Изменения этих размеров и их точности на чертеже или эскизе автоматически считываются и переносятся в технологический процесс. Такая возможность быстрой взаимосвязанной корректировки технологического процесса позволяет значительно сократить срок подготовки производства для выпуска нового изделия на базе существующей типовой технологии.

### **Общие рекомендации, связанные с параметризацией чертежей**

Имеет смысл параметризовать чертежи деталей, при модификации которых изменяются только размеры и не меняется топология. Таким образом, однажды созданное параметрическое изображение детали может быть быстро перестроено простым изменением значений размеров. Если выполняется новая разработка, оцените, будет ли она применяться в будущем как прототип. Если нет, тогда параметризация чертежа может не выполняться, так как отпадает необходимость в последующей быстрой модификации. Если же новая

деталь будет часто использоваться как стандартный прототип, параметризация ее чертежа или создание параметрического фрагмента имеет смысл.

Скорее всего, не будет оправданной полная параметризация сложных сборочных чертежей, так как в этом случае велик объем работы по вводу ограничений и управляющих размеров. Попробуйте оценить на конкретных примерах чертежей типовых деталей, какие преимущества дает применение параметризации. В дальнейшем учитывайте полученные результаты при новом проектировании или переработке имеющейся чертежной документации.

### **Общие сведения о параметризации. Понятие параметрическое изображение.**

Отличие параметрического изображения от обычного состоит в том, что в нем хранится информация не только о расположении и характеристиках геометрических объектов, но и о взаимосвязях между объектами и наложенных на них ограничениях.

Под взаимосвязью объектов подразумевается зависимость между параметрами нескольких объектов. При редактировании одного из взаимосвязанных параметров изменяются другие. Редактирование параметров одного объекта, не связанных с параметрами других объектов, не влияет ни на какие параметры. При удалении одного или нескольких объектов взаимосвязь исчезает.

В качестве примеров связей, наложенных на объекты, можно привести параллельность и перпендикулярность отрезков, прямых, стрелок взгляда, сегментов линии ступенчатого разреза, равенство длин отрезков или радиусов окружностей. Взаимозависимыми параметрами параллельных отрезков являются углы их наклона, т.к. параллельность отрезков тождественна равенству углов их наклона. Если повернуть один из связанных таким образом отрезков, т.е. изменить угол его наклона, повернется и другой отрезок. Если сдвинуть или промасштабировать один из отрезков, т.е. не изменять его угол наклона, второй отрезок не изменится. Если удалить один из отрезков, то угол наклона другого станет независимым.

Зависимость между параметрами может быть и более сложной, чем равенство одного параметра другому. Например, возможно задание функции, определяющей отношение между параметрами нескольких объектов.

Второй тип параметрической связи – ассоциативность объектов. Ассоциативными могут быть объекты, которые при построении привязываются к другим объектам – размеры, технологические обозначения, штриховки. Такие объекты «помнят» о своей принадлежности к базовому графическому объекту (отрезку, окружности и т.д.) или к нескольким объектам. При редактировании базовых объектов (например, их сдвиге или повороте) ассоциативные объекты перестраиваются соответствующим образом. В

результате сохраняется взаимное расположение базового и ассоциированного с ним объекта.

Под ограничением подразумевается зависимость между параметрами отдельного объекта, равенство параметра объекта константе или принадлежность параметра определенному числовому диапазону. Допускается только такое редактирование объекта, в результате которого не будут нарушены установленные зависимости, равенства и неравенства.

В качестве примеров ограничений, наложенных на геометрические объекты, можно привести вертикальность и горизонтальность отрезков, прямых, стрелок взгляда, линий разреза/сечения. Вертикальность отрезка тождественна равенству X-координат его концов друг другу или равенству угла его наклона  $90^\circ$ . Отрезок, на который наложено такое ограничение, можно перемещать, но нельзя поворачивать, т.е. изменять угол его наклона.

При редактировании параметризованных и ассоциативных объектов перестроение изображения происходит таким образом, что соблюдаются все наложенные на объекты ограничения и сохраняются связи между объектами.

Параметрические изображения могут использоваться как самостоятельно (например, чертеж, содержащий параметрические виды детали), так и для вставки в другие документы (чертежи или фрагменты). Параметрическое изображение, предназначенное для последующей вставки, обязательно должно храниться во фрагменте (файле с расширением `figw`) и иметь внешние переменные.

### **Идеология параметризации КОМПАС-3D**

Существует два принципиально различных способа получения параметрического изображения. Программирование, либо интерактивное формирование изображения непосредственно при рисовании. В ряде САD-систем можно вычерчивать изображение с одновременным заданием закона построения, который, однако, потом нельзя изменить в случае ошибки (придется удалить все построение и начать его заново), либо такое изменение сильно затруднено.

Наложение ограничений (связей) на объекты начерченного ранее изображения узла или детали, причем в любом порядке, не придерживаясь какой-либо жесткой последовательности. В этом случае возможно произвольное изменение изображения, не приводящее к необходимости повторных построений с самого начала.

В КОМПАС-3D реализован второй способ параметризации изображений. Такая параметризация называется вариационной.

Работая в чертеже, фрагменте или эскизе трехмерного элемента, можно накладывать различные размерные (линейные, угловые, радиальные и диаметральные) и геометрические

(параллельность, перпендикулярность, касание, принадлежность точки к кривой, фиксация точки и т.д.) ограничения и связи на объекты изображения.

### **Параметрические возможности КОМПАС-3D**

КОМПАС-3D позволяет обрабатывать следующие связи и ограничения: 1) Вертикальность объектов; 2) Горизонтальность объектов; 3) Коллинеарность отрезков; 4) Параллельность объектов; 5) Перпендикулярность объектов; 6) Выравнивание характерных точек объектов по вертикали; 7) Выравнивание характерных точек объектов по горизонтали; 8) Зеркальная симметрия; 9) Равенство радиусов дуг и окружностей; 10) Равенство длин отрезков; 11) Касание кривых; 12) Объединение характерных точек объектов; 13) Принадлежность точки кривой; 14) Фиксация характерных точек объектов; 15) Фиксация и редактирование размеров; 16) Присвоение размеру имени переменной. Некоторые связи и ограничения могут накладываться автоматически.

Команды наложения перечисленных связей и ограничений сгруппированы в меню **Инструменты – Параметризация**, а кнопки для вызова команд – на панели **Параметризация**.

Задание аналитических зависимостей (уравнений и неравенств) между переменными осуществляется в Окне работы с переменными.

Существуют также возможности для автоматической параметризации следующих построений:

- 1) Скругление; 2) Фаска; 3) Сопряжение; 4) Усечение двумя точками; 5) Выравнивание по границе;
- 6) Удлинение до ближайшего объекта; 7) Простановка точек на пересечении; 8) Простановка точек вдоль кривой; 9) Симметрия.

Для удобства работы можно включить отображение на экране значков, символизирующих ограничения, наложенные на объекты, а также значков, показывающих количество имеющихся у объектов степеней свободы.

Предусмотрен ввод ассоциативных объектов оформления. К ним относятся: т штриховки; т обозначения шероховатости; обозначения базы; размеры; обозначения центра; эквидистанты.

Не предусмотрена возможность параметризации некоторых сложных объектов: прямоугольника; многоугольника; ломаной; кривой Безье; контуров; текста; таблицы; линий-выносок всех типов; стрелки направления взгляда; линии разреза/сечения, макроэлементов.

## Принципы и приемы наложения связей и ограничений

Ряд ограничений и связей может быть определен без явного ввода числовых значений (например, горизонтальность прямой или условие касания двух кривых). Напротив, такие ограничения, как значения размеров должны выражаться именно числовыми значениями. Некоторые связи и ограничения можно задать в форме уравнения или неравенства (например, указать функцию зависимости параметра объекта от параметров других объектов или задать диапазон, в котором должно находиться значение параметра).

Часть ограничений и взаимосвязей (совпадения точек, параллельность и др.) могут формироваться автоматически при вводе, если пользователь включил такую возможность. Например, совпадение точек и положение точки на кривой параметризуются через выполненную при указании точки привязку, а условия параллельности, перпендикулярности и касания – в соответствующих процессах ввода объектов. В любой момент можно выключить автоматическое формирование ограничений и взаимосвязей.

Дополнительные ограничения и взаимосвязи можно назначить объектам чертежа в любой момент работы над документом.

Ассоциативность объектов (размеров, штриховок и др.) возникает только при их вводе благодаря прямому или косвенному указанию базовых объектов. Отдельных команд для задания ассоциативности не существует.

Ограничения накладываются путем выбора их типа и указания параметризуемого объекта. Например, вы выбрали горизонтальность и указываете отрезки, которые должны быть горизонтальны.

Связи накладываются путем выбора их типа и указания пары взаимосвязанных объектов. Например, вы выбрали параллельность и указываете пары отрезков, которые должны быть параллельны.

При этом запоминаются только те связи, которые были установлены явно (либо путем обращения к соответствующей команде параметризации, либо путем рисования в параметрическом режиме).

Обратите внимание на то, что новые связи, которые вытекают из нескольких ранее наложенных связей, автоматически не возникают, даже если они кажутся совершенно очевидными.

Например, вы начертили три отрезка и установили параллельность первого отрезка второму, а второго – третьему. При этом связь между первым и третьим отрезками является опосредованной – она осуществляется через второй отрезок. Сразу после удаления второго

отрезка первый и третий будут параллельны, однако редактироваться они будут уже независимо друг от друга, т.к. прямой связи между ними нет.

Еще один способ наложения ограничений – фиксация ассоциативного размера. Если размер ассоциативный, то при помощи соответствующей команды его можно зафиксировать. Когда размер зафиксирован, его значение остается постоянным при любом перестроении объектов, составляющих изображение. Значение размера всегда характеризует какой-либо геометрический параметр. Например, значение ассоциативного линейного размера соответствует расстоянию между характерными точками объектов (или одного объекта), а значение ассоциативного радиального размера – радиусу базовой окружности или дуги окружности. Таким образом, фиксация размера позволяет установить равенство константе какого-либо параметра объекта. Значение каждого конкретного фиксированного размера можно изменить при помощи специальной команды, но нельзя изменить путем редактирования самих объектов.

Если зависимость между параметрами объектов требуется задать в аналитической форме (уравнением или неравенством), то сначала нужно создать переменные, соответствующие зависимым параметрам. Затем можно вводить уравнения и неравенства с участием созданных переменных.

Для создания переменной следует проставить ассоциативный размер, характеризующий ограничиваемый параметр (например, для длины отрезка это будет линейный размер между концами отрезка) и при помощи соответствующей команды присвоить этому размеру имя переменной.

Присвоив имя переменной зафиксированному размеру, можно использовать значение этого размера в уравнениях и неравенствах. Ввод уравнений и неравенств осуществляется в Окне работы с переменными.

### **Рекомендации по использованию параметрических возможностей**

Наличие параметрических возможностей не накладывает каких-либо ограничений на стиль работы при создании чертежей. Вы можете выбирать, с каким именно изображением вам удобнее работать – с параметризованным или обычным. При необходимости в одном документе могут сочетаться параметризованные и не параметризованные объекты. Кроме того, можно без каких-либо проблем переходить от одного представления геометрии к другому, например, накладывая параметрические ограничения на созданный ранее обычный чертеж или удаляя ограничения, наложенные на созданное ранее параметрическое изображение.

К применению параметрических возможностей при работе с чертежной документацией следует подходить взвешенно, оценивая степень реальной необходимости полной параметризации того или иного чертежа.

### **Особенности работы с параметрическими объектами**

При работе с параметрическими чертежами и фрагментами может оказаться полезным знание следующих особенностей.

Чем больше ограничений наложено на объекты, составляющие изображение детали, тем меньше вероятность сильных разбросов при пересчетах. В большинстве случаев рекомендуется полное определение изображения, т.е. лишение составляющих его объектов всех степеней свобод. В качестве вспомогательных ограничений применяйте фиксацию точек, назначение горизонтальности или вертикальности отрезков, простановку дополнительных размеров. Для удобства работы можно включить отображение на экране степеней свободы объектов.

Рекомендуется не выполнять «резких движений» при редактировании параметрического изображения, лучший стиль при работе с ним – постепенность. Например, не следует слишком сильно изменять значение размера (например, было  $5^\circ$ , а стало  $120^\circ$ ). Такие значительные изменения лучше выполнять постепенно, в несколько приемов. То же самое можно сказать и о редактировании перетаскиванием точек – не следует сдвигать объект или точку сразу на очень большое расстояние, лучше выполнить такое перемещение в несколько этапов.

Помните, что время обработки параметрического изображения существенно зависит от насыщенности чертежа или фрагмента параметризованными объектами. Однако полностью определенное изображение обрабатывается быстрее, чем недоопределенное.

### **Некоторые приёмы работы в параметрическом режиме**

Параметрическим режимом называется такой режим создания и редактирования геометрических объектов и объектов оформления, в котором параметрические связи и ограничения накладываются автоматически. При этом тип накладываемых связей и ограничений определяется в процессе построения благодаря последовательности выполнения команды построения объекта или осуществлению привязки (в том числе локальной).

Вычерчивание отрезка, параллельного другому отрезку, с помощью команды Параллельный отрезок вызовет автоматическое возникновение соответствующей связи –

параллельности отрезков. Если при вычерчивании окружности ее центр будет привязан к концу отрезка, то соответствующая связь – совпадение точек – будет сформирована автоматически. Вычерчивание вертикального отрезка приводит к наложению на него соответствующего ограничения – вертикальности.

Построение горизонтальной линии разреза с выравниванием по центру окружности приводит к наложению на линию разреза ограничения горизонтальность и формированию связи выравнивание точек по горизонтали между первым штрихом линии и центром окружности.

Простановка обозначения шероховатости приводит к созданию ассоциативного знака шероховатости. По умолчанию во фрагментах и чертежах параметрический режим выключен, а в эскизах трехмерных элементов – включен.

Рекомендуется включать параметрический режим при оформлении чертежей, содержащих ассоциативные виды. Это позволит создавать ассоциативные объекты оформления (размеры, обозначения центра, шероховатости и т.п.), которые будут «следовать» за своими базовыми объектами при перестроении последних в результате редактирования модели. Чтобы включить и настроить параметрический режим в текущем графическом документе, вызовите команду **Сервис - Параметры - Текущий чертеж (фрагмент) - Параметризация**. На экране появится диалог настройки параметрического режима. Настройка параметрического режима хранится в самом документе и не изменяется при его передаче на другое рабочее место. Если вы создаете большинство графических документов в параметрическом режиме, то выполнение соответствующей настройки в каждом документе нерационально. В этом случае можно сделать так, чтобы во всех новых графических документах по умолчанию был включен параметрический режим. Для этого вызовите команду **Сервис – Параметры – Новые документы – Графический документ – Параметризация**. Настройте параметрический режим, как описано выше.

### **Общий порядок действий при построении параметрического изображения**

Если параметрический режим включен, то отмеченные в диалоге настройки параметризации связи и ограничения формируются системой автоматически при вводе объектов.

Никаких специальных действий при создании объектов выполнять не нужно. Однако следует обязательно учитывать, что совпадения точек объектов параметризуются через выполненные при указании этих точек привязки. При этом не имеет значения, какая привязка действовала – глобальная или локальная. Точка, указанная просто «неподалеку»

от другой точки, без выполнения привязки, параметризоваться не будет. Совпадение точек параметризуется и при перетаскивании характерных точек объектов (тоже через выполненную привязку).

**Под словом «точка» здесь понимается не точка – геометрический объект, а любая задаваемая характерная точка объекта при его построении (начальная и конечная точки отрезка, центр окружности или эллипса и т.д.**

Ассоциативные объекты оформления создаются в обычном порядке. Различные дополнительные взаимосвязи и ограничения можно назначить объектам в любой момент, когда это потребуется.

Задание аналитических зависимостей между переменными, соответствующими параметрам модели, производится в **Окне работы с переменными**.

### **Подготовка параметрических фрагментов для вставки в другие документы**

Вставка в документы параметрических фрагментов позволяет сэкономить время не только на вычерчивании изображения, но и на его редактировании, так как для перестроения изображения достаточно изменить параметры фрагмента. Изменение параметров возможно как во время, так и после вставки.

Документ, в который вставляется фрагмент, называется главным документом. Как правило, в параметрическом изображении изделия одни переменные являются независимыми (их значения могут быть непосредственно введены пользователем), а другие – вычисляемыми (их значения зависят от значений остальных переменных). При вставке параметрического фрагмента в другой документ обычно требуется задание значений независимых переменных. Остальные переменные вычисляются согласно существующим во вставляемом фрагменте уравнениям и неравенствам.

Переменная в параметрическом фрагменте, значение которой можно изменять в главном документе, называется внешней. Любые переменные фрагмента могут быть внешними. Основное назначение внешних переменных – управление параметрами вставленного в другой документ фрагмента без редактирования этого фрагмента «изнутри».

Для быстрого присвоения внешним переменным вставляемого (вставленного) фрагмента predetermined значений можно использовать **таблицу переменных**.

Например, вы построили в параметрическом фрагменте изображение фланца (рис. 5) и при помощи уравнений и неравенств задали зависимости между размерами его конструктивных элементов.

При вставке фрагмента с фланцем в чертеж, размером, определяющим все его параметры, должен быть диаметр. Сделайте переменную, соответствующую диаметру, внешней. Тогда в момент вставки фрагмента в чертеж нужно будет задать только значение диаметра. Расчет значений остальных переменных и соответствующее перестроение изображения будет выполнено автоматически.

Присвоение переменной статуса «внешняя» производится в **Окне работы с переменными**. Чтобы сделать переменную внешней, включите напротив нее опцию в колонке Внешняя.

Обратите внимание на то, что внешняя переменная будет доступна для изменения в главном документе, только если она присвоена зафиксированному размеру. Переменная, присвоенная информационному (т.е. незафиксированному) размеру, считается информационной. Она будет недоступна в главном документе.

Фиксация размера возможна с помощью команды **Зафиксировать размер**, или диалога установки значения размера.

### **Наложение связей и ограничений**

В описании каждой команды указаны ее возможности, кнопка для вызова команды, порядок указания объектов параметризации и механизм действия команды при отсутствии других связей и ограничений. Если связь или ограничение, накладываемые при помощи этой команды, могут возникать автоматически в параметрическом режиме, в описании команды указана соответствующая опция настройки параметрического режима.

Если объекты, участвующие в выполнении команды параметризации, уже имеют связи и ограничения, то новая связь или ограничение накладываются с учетом уже существующих. При этом перестроение изображения происходит таким образом, что соблюдаются все связи и ограничения, а изменение параметров объектов минимально.

Связи и ограничения, противоречащие уже существующим, накладываться не будут. При необходимости вы можете включить и настроить отображение на экране символов, показывающих связи и ограничения, наложенные на графические объекты.

### **Горизонталь**

Чтобы преобразовать наклонные объекты (отрезки, стрелки взгляда и др.) в горизонтальные, вызовите команду **Горизонталь**.

Последовательно указывайте объекты, которые необходимо преобразовать. При преобразовании отрезка в горизонтальный остается неизменной его проекция на горизонтальную ось, т.е. отрезок поворачивается с сохранением X-координат его концов. В

результате длина наклонного отрезка уменьшается, длина горизонтального не меняется. Вертикальный отрезок нельзя преобразовать в горизонтальный, т.к. при этом он вырождается в отрезок нулевой длины. Горизонтальным считается объект, параллельный оси абсцисс системы координат текущего вида. Поэтому, если вы наложите ограничение горизонтальность на объект, расположенный в виде, система координат которого повернута относительно абсолютной системы координат, этот объект не будет параллелен горизонтальным сторонам листа. Данное ограничение – горизонтальность – может автоматически возникать в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должна быть включена опция **Параметризовать горизонтальность и вертикальность**. Ограничение будет возникать при построении (любым способом) горизонтального объекта. Например, при указании второй точки отрезка (или прямой) можно воспользоваться привязкой Выравнивание к первой точке, или набрать одинаковые Y-координаты его характерных точек в полях Панели свойств, или ввести нулевой угол наклона. Даже если при построении объекта его горизонтальность не была задана явно, но создан горизонтальный объект (например, новый отрезок проведен параллельно горизонтальному объекту), на него будет наложено ограничение горизонтальность.

### **Вертикаль**

Чтобы преобразовать наклонные объекты (отрезки, стрелки взгляда и др.) в вертикальные, вызовите команду **Вертикаль**. Последовательно указывайте объекты, которые необходимо преобразовать. При преобразовании отрезка в вертикальный остается неизменной его проекция на вертикальную ось, т.е. отрезок поворачивается с сохранением Y-координат его концов. В результате длина наклонного отрезка уменьшается, длина вертикального не меняется. Горизонтальный отрезок нельзя преобразовать в вертикальный, т.к. при этом он вырождается в отрезок нулевой длины. Вертикальным считается объект, параллельный оси ординат системы координат текущего вида. Поэтому, если вы наложите ограничение вертикальность на объект, расположенный в виде, система координат которого повернута относительно абсолютной системы координат, этот объект не будет параллелен вертикальным сторонам листа. Данное ограничение – вертикальность – может автоматически возникать при построении объектов в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должна быть включена опция **Параметризовать горизонтальность и вертикальность**. Ограничение будет возникать при построении (любым способом) вертикального объекта.

## Выравнивание точек по горизонтали

Чтобы выровнять по горизонтали характерные точки геометрических объектов, вызовите команду **Выровнять по горизонтали**. Указывайте попарно характерные точки геометрических объектов для выравнивания. Для выполнения команд: *а) Выровнять точки по горизонтали, б) Выровнять точки по вертикали, в) Объединить точки, г) Точка на кривой, д) Симметрия двух точек*, можно указать только те точки, которые принадлежат текущему виду.

## Выбор точки для выравнивания из нескольких совпадающих

Иногда точка, которую требуется указать для выравнивания, совпадает с характерной точкой другого объекта и выбрать точно ее невозможно, т.к. происходит привязка к точке другого объекта. В этом случае вы можете вначале указать графический объект, которому принадлежит параметризуемая точка, а затем – саму точку. Для этого нажмите кнопку **Указать объект**. Укажите объект и его характерную точку. Указание одной из совпадающих точек при выполнении команд **Выравнивание точек по вертикали** и **Совпадение точек** производится аналогично.

## Выравнивание точек по вертикали

Чтобы выровнять по вертикали характерные точки геометрических объектов, вызовите команду **Выровнять по вертикали**. Указывайте попарно характерные точки геометрических примитивов для выравнивания.

Связи **выравнивание точек по горизонтали** и **выравнивание точек по вертикали** могут автоматически возникать при построении объектов в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должна быть включена опция **Параметризовать привязки**. Связи будут возникать при вводе характерной точки объекта путем привязки **Выравнивание** к другой характерной точке

## Объединение точек

Чтобы привязать характерные точки геометрических объектов друг к другу, вызовите команду **Объединить точки**. Указывайте попарно характерные точки объектов для объединения.

Связь **совпадение точек** может автоматически возникать при совпадении объектов в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должна быть включена опция **Параметризовать привязки**. Связь будет возникать при вводе характерной точки объекта путем привязки к другой характерной точке, а также при вводе последовательности объектов с помощью команды **Непрерывный ввод**.

### **Точка на кривой**

Чтобы привязать характерную точку объекта к какой-либо кривой (другому объекту), вызовите команду **Точка на кривой**. Укажите кривую, на которой должна располагаться точка, а затем – точку.

Данная связь – принадлежность точки кривой – может автоматически возникать при построении объектов в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должна быть включена опция **Параметризовать привязки**. Связь будет возникать при вводе характерной точки объекта путем привязки **Точка на кривой**, при построении окружности с помощью команды **Окружность с центром на объекте**, а также при простановке точек на кривой с помощью команд **Точки по кривой**, и **Точка на заданном расстоянии**.

### **Симметрия двух точек**

Чтобы установить симметрию характерных точек объектов относительно оси (зеркальную симметрию), вызовите команду **Симметрия двух точек**. Укажите ось симметрии, а затем – пару характерных точек объектов, которые должны быть симметричны.

Данная связь – зеркальная симметрия – может автоматически возникать при построении объектов в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должна быть включена опция **Параметризовать симметрию**. Связь будет возникать при выполнении команды **Симметрия**, если в качестве оси симметрии указан существующий отрезок (а не две точки, принадлежащие оси симметрии).

### **Параллельность**

Чтобы установить **параллельность объектов** (отрезков, стрелок взгляда и др.) вызовите команду **Параллельно**. Указывайте попарно объекты, параллельность которых требуется установить. Для выполнения команд: **Параллельно**, **Перпендикулярно**, **Коллинеарно**,

**Касание, Равенство радиусов, Равенство длин** – можно указывать только те объекты, которые принадлежат одному и тому же виду. Связь **параллельность** может автоматически возникать при построении объектов в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должна быть включена опция **Параметризовать параллельность**. Связь будет возникать при создании прямых и отрезков с помощью команд **Параллельная прямая** и **Параллельный отрезок**.

### **Перпендикулярность**

Чтобы установить перпендикулярность объектов (отрезков, стрелок взгляда и др.), вызовите команду **Перпендикулярно**. Указывайте попарно объекты, перпендикулярность которых требуется установить. Связь **перпендикулярность** может автоматически возникать при построении объектов в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должна быть включена опция **Параметризовать перпендикулярность**. Связь будет возникать при создании прямых и отрезков, перпендикулярных прямой и отрезкам, с помощью команд **Перпендикулярная прямая** и **Перпендикулярный отрезок**.

### **Коллинеарность**

Чтобы установить коллинеарность отрезков, вызовите команду **Коллинеарно**. Указывайте попарно отрезки, которые должны лежать на одной прямой. Связь **коллинеарность** может автоматически возникать при построении объектов в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должна быть включена опция **Параметризовать привязки**. Связь будет возникать при разделении отрезка на две части с помощью команды **Усечь кривую двумя точками**.

### **Касание**

Чтобы установить касание кривых, вызовите команду **Касание**. Укажите первую и вторую кривые, касание которых требуется установить. Связь **касание** может автоматически возникать при построении объектов в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должна быть включена опция **Параметризовать касание**. Связь будет возникать при построении касательных объектов.

### **Равенство радиусов**

Чтобы сделать радиусы указанных дуг и/или окружностей равными, вызовите команду **Равенство радиусов**. Указывайте попарно дуги и/или окружности для выравнивания их радиусов.

## Равенство длин

Чтобы сделать длины указанных отрезков равными, вызовите команду **Равенство длин**. Указывайте попарно отрезки для выравнивания их длин.

## Фиксация точки

Чтобы зафиксировать координаты характерных точек геометрических объектов, вызовите команду **Зафиксировать точку**. Указывайте характерные точки геометрических примитивов для их фиксации.

## Фиксация размера

Чтобы зафиксировать значение указанного размера, вызовите команду **Зафиксировать размер**.

Указывайте размеры для их фиксации. При успешной фиксации размерная надпись заключается в прямоугольную рамку (она отображается на экране, если в текущем окне включен показ ограничений, Эта рамка на печать не выводится.

Фиксация возможна для размеров всех типов, за исключением следующих: *а)* линейный размер с обрывом, *б)* размер дуги, *в)* размер высоты для вида сверху с линией-выноской, *г)* размер высоты непосредственно на изображении.

Зафиксировать неассоциативные или избыточные размеры невозможно. Избыточным является размер, значение которого можно вычислить либо исходя из существующих в документе уравнений, либо на основе проставленных ранее зафиксированных размеров.

Фиксация размера с переменной равносильна добавлению в систему уравнений документа уравнения вида «имя переменной = значение размера».

Фиксация размеров может производиться автоматически при их простановке в параметрическом режиме. Для этого при настройке параметрического режима должны быть включены опции **Ассоциировать при вводе размеры** и **Фиксировать размеры**. Связь будет возникать при простановке ассоциативных не избыточных размеров.

## Установка значения размера

Присвоение размеру имени переменной и изменение числового значения фиксированного размера производится в диалоге установки значения размера. В этом же диалоге можно сделать размер фиксированным или информационным (т.е. снять с него фиксацию).

Для вызова диалога установки значения размера служит команда **Установить значение размера**.

Чтобы присвоить размеру имя переменной, введите его в поле **Переменная**. Имя переменной может содержать буквы латинского алфавита (различаются символы верхнего и нижнего регистра), арабские цифры и символы подчеркивания («\_»). Длина имени переменной не более 16 символов. Первый символ в имени переменной – буква или подчеркивание.

Если размер зафиксирован, то поле **Значение** доступно, и вы можете задать нужное значение размера.

Если размер не зафиксирован, то поле **Значение** не доступно. В нем отображается текущее значение размера.

**Опция Информационный** размер позволяет фиксировать размер и снимать с него фиксацию. При выключении опции размер фиксируется, и поле **Значение** становится доступным, а при включении – размер делается информационным, и поле **Значение** становится недоступным. Завершив установку значения размера, нажмите кнопку **ОК** диалога.

Если выполнение фиксации или изменения значения размера невозможно, то на экране появится соответствующее сообщение.

Переменная, поставленная в соответствие ассоциативному размеру, называется связанной. Соответствие между связанной переменной и размером является взаимно однозначным. Значение связанной переменной равно значению размера. Имя связанной переменной отображается в скобках на размерной линии. На печать оно не выводится.

Диалог установки значения размера можно вызвать и без использования специальной команды – достаточно дважды щелкнуть мышью на его размерной надписи. Двойной щелчок на любой другой части размера (например, на размерной линии) запустит процесс редактирования размера.

### **Параметризация объектов**

Чтобы полуавтоматически наложить некоторые типы связей и ограничений на геометрические объекты, выделите их и вызовите команду **Параметризовать объекты**. На экране появится диалог настройки параметризации.

### **Порядок выполнения работы**

В редакторе КОМПАС-3D требуется выполнить построение параметрических фрагментов в порядке повышения их сложности. Изменение параметров каждого построенного фрагмента необходимо задать двумя способами – с помощью уравнений и с помощью таблицы переменных. Условия изменения размеров конструктивных элементов приведены в соответствующих таблицах.

### Задача 1

Необходимо построить параметрический прямоугольник с изменением длин двух сторон по закону, предложенному в таблице 1.

Таблица 1 – Размеры сторон параметрического прямоугольника

Параметр	Диапазоны размеров						
Значение высоты $h$ , mm	10...<20	20...<30	30...<40	40...<50	50...<70	70...<100	100...<150
Значение ширины $b$ , mm	10	15	18	22	25	30	40

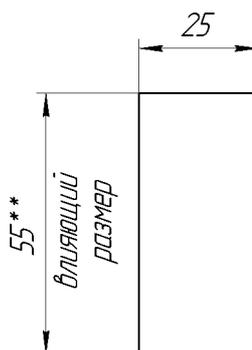


Рисунок 1 – Параметрический прямоугольник с размерами сторон

### Задача 2

Необходимо построить главный вид и сечение плиты с отверстием (рис. 2). Учитывая, что значение высоты ( $h$ ) является определяющим, изменение ширины ( $b$ ), толщины плиты ( $l$ ) и диаметра отверстия ( $d$ ) задать по закону:  $b=0,5 \times h$ ;  $d=b-5$ ;  $l=h < 50 ? b-5 : b-10$ .

ПРИМЕЧАНИЕ:  $l=h < 50 ? b-5 : b-10$  – запись логического выражения следования для КОМПАС, читается как: “Если величина  $h < 50$ , то значение  $l=b-5$ , иначе  $l=b-10$ ”. Другие логические операции для редактора КОМПАС приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Логические операции в редакторе КОМПАС-3D

Наименование операции	Сочетание символов	Наименование операции	Сочетание символов
-----------------------	--------------------	-----------------------	--------------------

Тождество	==	Логическое сложение ИЛИ	
Не тождество	!=	Логическое отрицание НЕ	!
Больше	>	Логическое умножение И	&&
Меньше	<	Следование (ЕСЛИ; ТОГДА)	?:

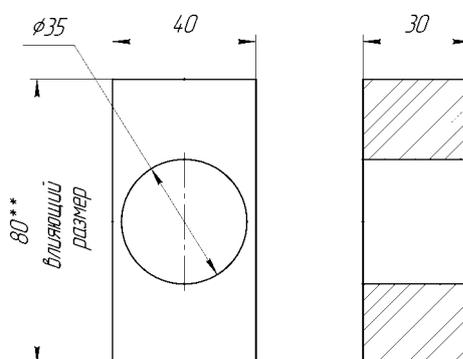


Рисунок 2 – Главный вид и сечение детали

### Задача 3

Необходимо построить валик со шпоночным пазом и сечением. Изменение длины детали, размеров фасок и шпоночного паза задать в зависимости от диаметра валика.

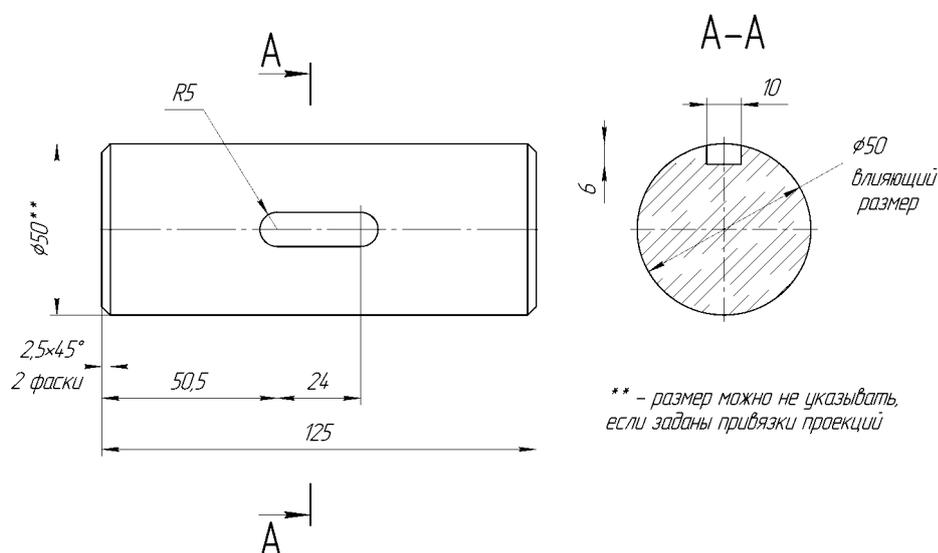


Рисунок 3 – Валик со шпоночным пазом и сечение

Выполнение задачи рекомендуется разделить на три этапа – 1) Построение параметрического фрагмента сечения; 2) Построение параметрического фрагмента детали с фасками; 3) Выполнение привязки элементов валика и сечения.

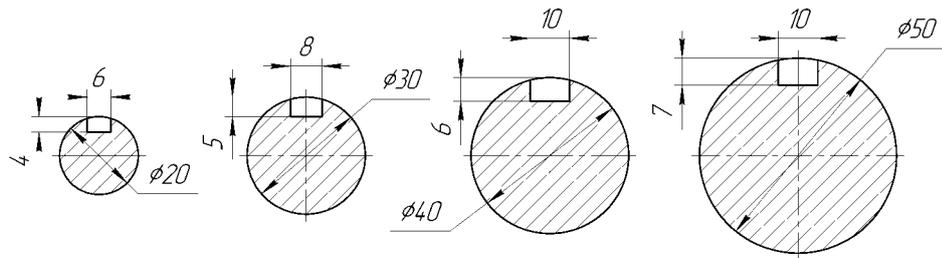


Рисунок 4 – Параметрическое сечение валика с изменяющимися размерами

Изменение размеров конструктивных элементов рекомендуется задать, используя таблицу переменных. В редакторе КОМПАС предусмотрена опция импорта подготовленной таблицы из редактора *Microsoft Excel*. Таблицу в *Microsoft Excel* предварительно следует сохранить в файл, при этом наименование листа с таблицей должно быть «**VarTable**».

#### Задача 4

Необходимо построить главный вид и сечение детали фланец. Изменение размеров, конструктивных элементов фланца задать в зависимости от наружного диаметра большей ступени  $d1$ .

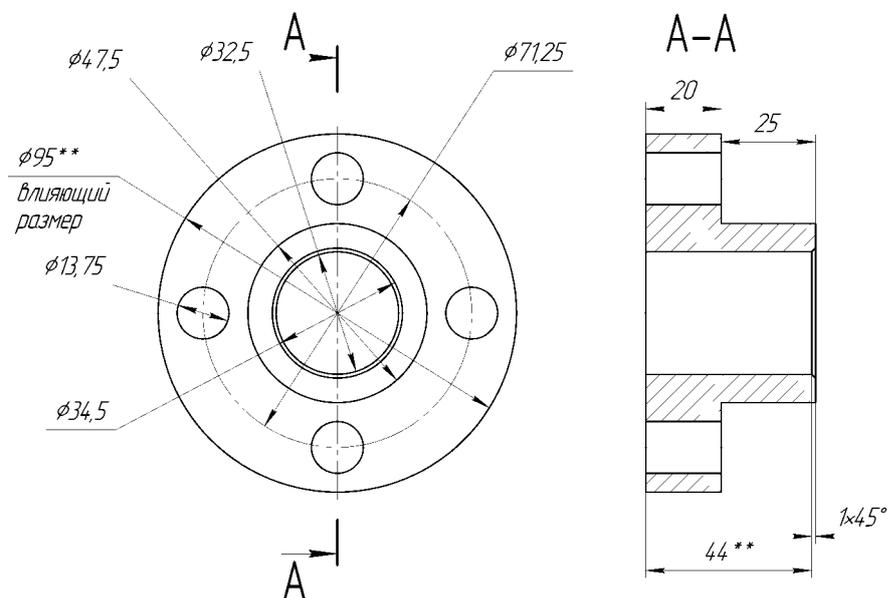


Рисунок 5 – Главный вид и сечение детали Фланец

Зависимость размеров конструктивных элементов фланца определить из условий: 1) Наружный диаметр меньшей ступени  $d2=0,5 \times d1$ ; 2) Внутренний диаметр меньшей ступени  $d3=d2-15$ ; 3) Размер по фаске  $d31=d2+2$ ; 4) Диаметр окружности расположения центров четырёх одинаковых отверстий  $d4=0,5 \times (d1+d2)$ ; 5) Диаметр четырёх одинаковых отверстий

$d5=0,5 \times (d3-5)$ ; 6) Длина ступени меньшего диаметра  $l1=d1 > 80 ? 25 : d3 + 4$ ; 7) Длина ступени большего диаметра  $l2=d1 > 80 ? 20 : l1 - 3$ .

При использовании таблицы переменных, рекомендуется использовать данные, приведённые в таблице 4.

Таблица 4 – Размеры конструктивных элементов фланца

Варианты	D	d1	d2	d3	d5	a1	a2	f1	f2	f3
ИСПОЛНЕНИЕ 1	140	80	68	14	110	22	25	2	1,6	1
ИСПОЛНЕНИЕ 2	120	65	53	12	92,5	22	25	2	1,6	1
ИСПОЛНЕНИЕ 3	100	55	43	10	77,5	22	40	1,6	1	0,6
ИСПОЛНЕНИЕ 4	80	50	38	8	65	30	35	1	0,6	0,6
ИСПОЛНЕНИЕ 5	60	35	23	6	47,5	15	20	1	0,6	0,6

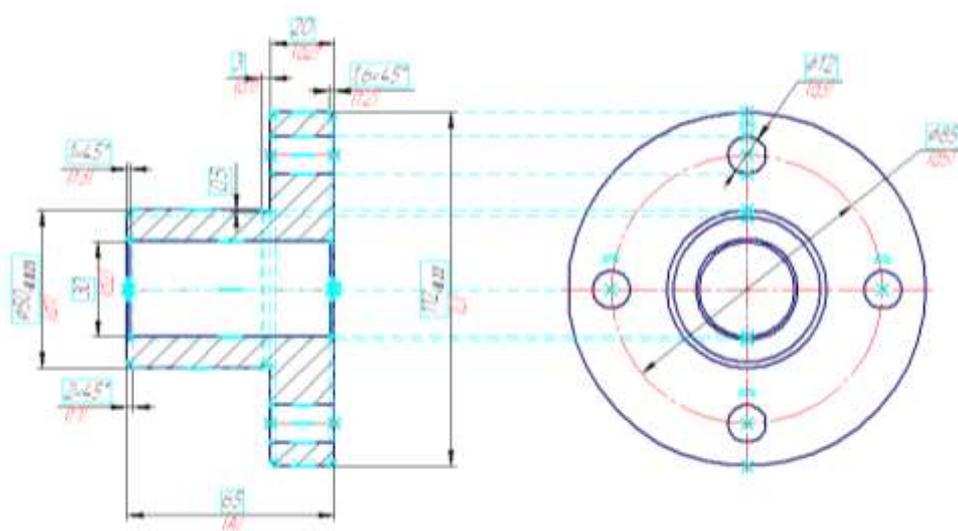


Рисунок 6 – Главный вид и сечение детали Фланец с привязками (вариант)

## Задача 2

Построить параметризованную 3D модель фланца (рис.7), с учетом вариантов исполнения.

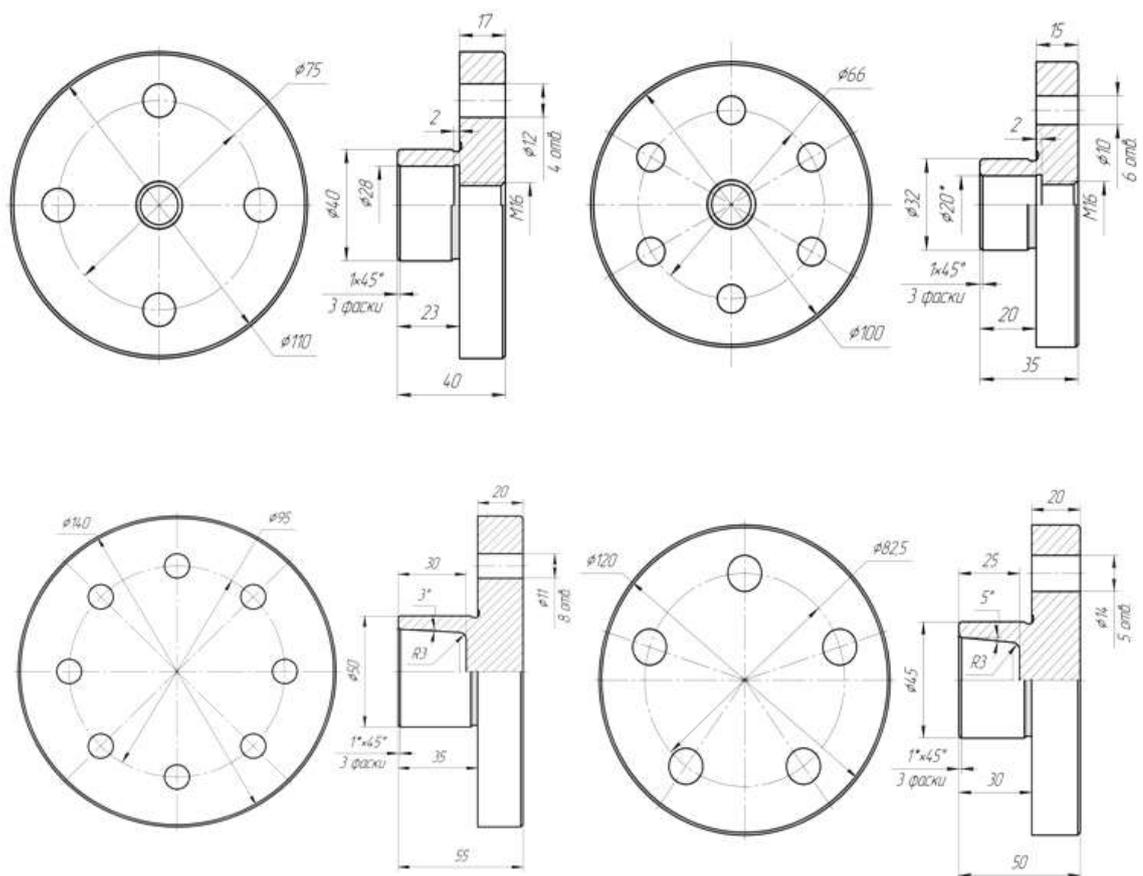


Рисунок 7 – Варианты исполнения фланца



## Задача 4

1. Построить 3D модель детали Рукоятка (рис.9);
2. Создать ассоциативные виды по образцу.
3. Рекомендуется использовать следующие 3D операции: «Выдавливание»; «По сечениям», «Кинематическая (по траектории)»; «Зеркальный массив».

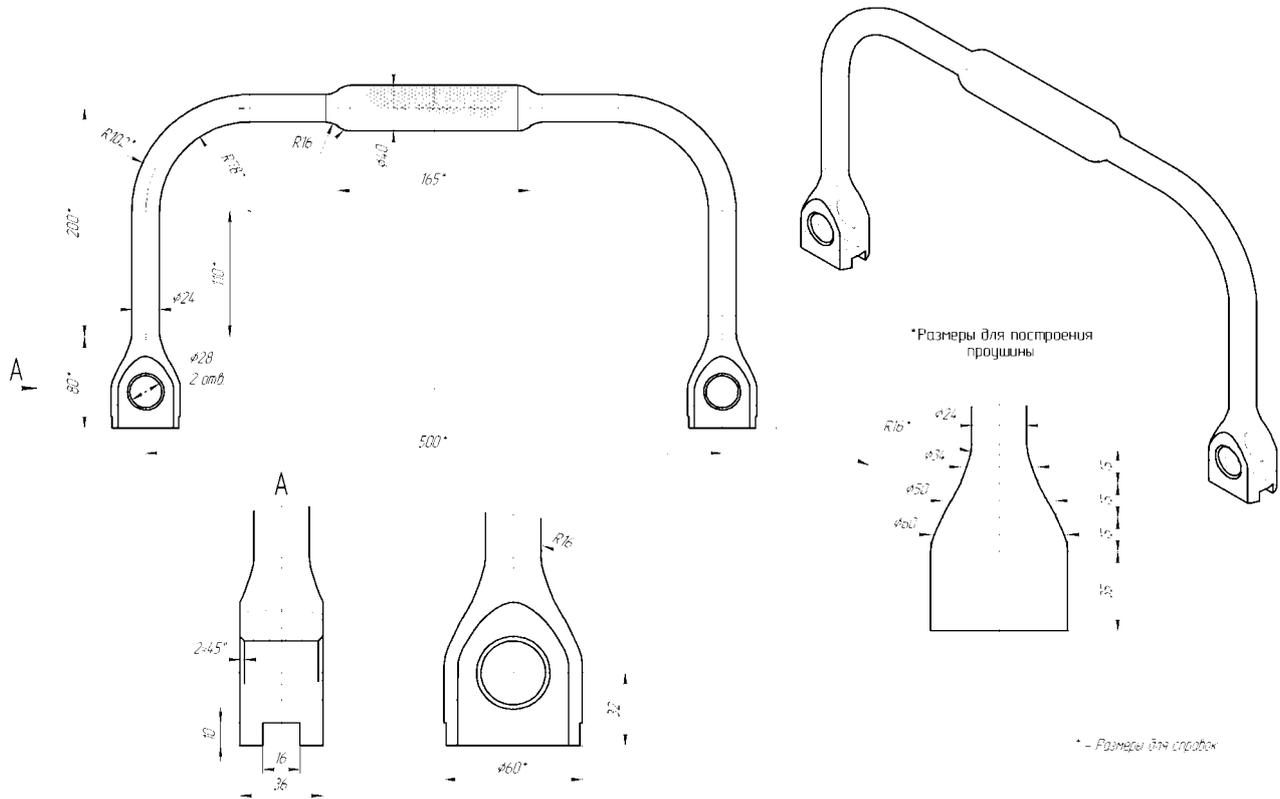


Рисунок 9 – Рукоятка

## Задача 5

1. Построить 3D модель детали корпус (рис.10) по индивидуальным данным, приведенным в таблице 1.

2. Создать ассоциативные виды по образцу.

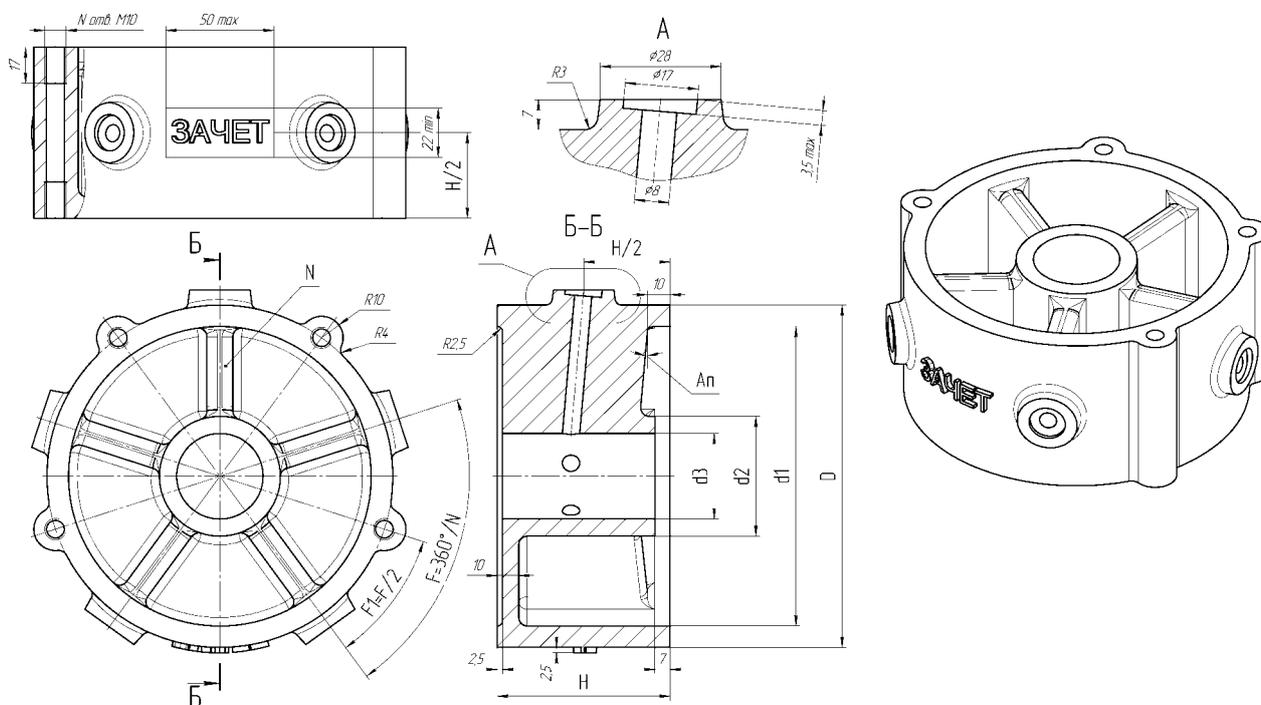


Рисунок 10 – Корпус

Таблица 1 – Варианты размеров конструктивных элементов корпуса

Вариант исполнения	Диаметральный размер, мм				Высота, мм	Угол наклоны ребер, град	Количество ребер
	D	d1	d2	d3			
1	200	180	100	85	120	7	6
2	180	160	90	76	110	5	5
3	170	150	75	60	100	3	3
4	220	200	105	90	125	4	6
5	160	140	60	45	90	6	4
6	150	131	50	35	80	5	3
7	145	136	50	35	75	7	4
8	190	170	70	56	70	10	5
9	210	190	75	61	100	8	6
10	140	121	50	36	70	3	4
11	195	175	65	50	85	4	5
12	155	136	55	40	72	12	3
13	165	146	62	48	65	10	5

ПРИМЕЧАНИЕ: 1. Неуказанные уклоны – 7° max; 2. Неуказанные радиусы – 5 мм max; 3. Количество приливов с резьбовыми отверстиями М10 определяется по количеству ребер жесткости  $\Sigma=N-1$  (N - см. вариант исполнения); 4.

Угловой шаг ребер жесткости одинаковый, и определяется в зависимости от их количества ( $F = \frac{360^\circ}{N}$ ); 5. Угол наклона оси отверстий  $\phi 17/\phi 8$  равен углу наклона верхней поверхности ребер жесткости  $An$ ;

## РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

### Вопросы к зачёту по дисциплине Основы САПР

1. САПР как объект проектирования – общие положения. Понятия: автоматизация проектирования; объект проектирования; проектное решение; проект; проектирование; входные и выходные данные; модели; программное обеспечение.
2. Основные принципы при создании САПР – системное единство; типизация; развитие. Общие признаки современных САПР.
3. Состав и структура САПР. Виды подсистем (проектирующие, обслуживающие), их назначение.
4. Понятие “Комплекс средств автоматизированного проектирования (КСАП)”. Назначение КСАП. Виды КСАП (обзорно). Структурные части комплексов средств.
5. Программно-методические комплексы (ПМК). Их подвиды. Проблемно-ориентированные ПМК. Объектно-ориентированные ПМК.
6. Общесистемные ПМК. Их состав и назначение. (Мониторные СУ, СУБД, информационно-поисковые системы, средства машинной графики, подсистемы обеспечения диалогового режима).
7. Программно-технические комплексы (ПТК). Их подразделения. Назначение.
8. Вычислительные сети. Их подразделение на уровни. Назначение уровней.
9. Виды обеспечения САПР. Математическое и информационное обеспечение.
10. Виды обеспечения САПР. Программное и лингвистическое обеспечение.
11. Виды обеспечения САПР. Техническое, методическое и организационное обеспечение.
12. Классификация САПР. Цель классификации. Классификация по типу объектов проектирования и разновидности объектов проектирования.
13. Классификация САПР по сложности объекта проектирования и по уровню автоматизации проектирования.
14. Классификация САПР по комплектности проектирования, по выпускаемым проектным документам и их количеству.
15. Классификация САПР по числу уровней в структуре технологического обеспечения и по ориентированности проектирования.
16. САПР конструирования изделий (CAD – Computer Aided Design and Computer Aided Engineering). Примеры программ, назначение.
17. САПР технологии изготовления (Автоматизированные системы технологической подготовки производства – Computer Automated Process Planning (CAPP), and Computer Aided Manufacturing (CAM), and Computer Aided Quality Control (Системы управления качеством), and Production Planning System (PPS) – российский аналог АСУП). Назначение. Примеры программ.
18. Понятие интеграции САПР. Схема полной интеграции (Computer Integrated Manufacturing – CIM).
19. Система T-FLEX CAD (от версии 9). Возможности системы. Особенности работы с системой.
20. Система трёхмерного твёрдотельного моделирования КОМПАС 3D – 5.11...V8 (по выбору). Возможности системы. Общие положения. Возможности интеграции с дополнительными модулями (от версии V8).

## **ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ**

### **Учебная программа дисциплины «Основы САПР»**

**Учебная программа учреждения высшего образования по учебной  
дисциплине для специальности:  
6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и  
инструменты», профилизация «Технология машиностроения»**

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024

Регистрационный № УД-\_\_\_\_\_/уч.

### Основы САПР

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине  
для специальности:

6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и  
инструменты», профилизация «Технология машиностроения»

2024

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта  
Республики Беларусь ОСВО 6-05-0714-02-2023 «Технология машиностроения, металлорежущие  
станки и инструменты»

название образовательного стандарта

СОСТАВИТЕЛЬ:

Я.В. Кудрицкий, ст. преподаватель кафедры «Машиностроение и эксплуатация  
автомобилей»

(И.О. Фамилия, должность)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Котыло А. А., начальник технического отдела Унитарного Предприятия  
«Гефест-Кварц»

Прокопеня О.Н., заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов  
и производств», кандидат технических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой машиностроения и эксплуатации автомобилей

Заведующий кафедрой С.В. Монтик

(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2024);

Методической комиссией машиностроительного факультета

Председатель методической комиссии В.П. Горбунов

(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2024);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2024)

# 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

«Основы САПР» - прикладная инженерная дисциплина, в которой изучаются современные подходы при подготовке и разработке новых проектов, а также базовые приёмы работы с типовыми программными модулями для автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства в машиностроении.

Целью изучения дисциплины является ознакомление студентов с основными этапами автоматизированного проектирования в машиностроении при использовании современных САПР. Изучение возможностей интеграции программных модулей CAD/CAE/CAPP/CAM.

Задачей изучения дисциплины «Основы САПР» является Изучение базовых приёмов работы с прикладными программами машиностроительного профиля. Овладение методиками автоматизированного проектирования в машиностроении. Умение выполнять типовые этапы конструкторской и технологической подготовки машиностроительного производства с помощью САПР.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

знать:

- виды систем автоматизированного проектирования (САПР);
- элементы системотехники;
- способы алгоритмизации технологических задач;
- методы моделирования при конструкторском проектировании;
- виды обеспечения САПР;
- основные принципы создания компьютерно-интегрированного производства;

уметь:

- выполнять расчёты типовых инженерных задач с помощью табличного редактора Excel с элементами программирования;
- выполнять 3D моделирование в графическом редакторе КОМПАС 3D с элементами параметризации моделей;
- выполнять параметрические 3D сборки в графическом редакторе КОМПАС 3D;
- получать комплекты ассоциативных рабочих, сборочных чертежей и спецификаций;
- выполнять типовые работы в автоматизированной среде проектирования при создании комплектов конструкторской и технологической документации.

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующих компетенций:

СК-1.3. Знать виды систем автоматизированного проектирования (САПР), элементы системотехники, способы алгоритмизации технологических задач, методы моделирования при конструкторском проектировании, виды обеспечения САПР.

В соответствии с учебным планом, на изучение дисциплины «Основы САПР» отводится 110 часов, в том числе:

дневная форма обучения - 50 часов аудиторных занятий (16 часов лекций и 34 часов лабораторных занятий);

заочная сокращенная форма обучения - 12 часов аудиторных занятий (4 часов лекций и 8 часов лабораторных занятий).

Форма итогового контроля - зачет.

#### План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6-05-0714-02	Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты	2	4	110	3	50	16	34	-	-	-	Зачет в 4 семестре

#### План учебной дисциплины для заочной сокращенной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6-05-0714-02	Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты	2	4	110	3	12	4	8	-	-	-	Зачет в 4 семестре

### 1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Учебная дисциплина «Основы САПР» включает в себя десять основных тем. Темы лекционных и лабораторных занятий приведены в следующих пунктах содержания учебного материала.

#### 1.1 ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Дисциплина, её предмет, цели и задачи. Предмет курса, общие понятия. Цель и задачи изучения дисциплины. Основные принципы создания компьютерно-интегрированного машиностроительного предприятия. Понятие «Сквозная САПР».

Тема 1. САПР как объект проектирования. Понятия: проектирование; автоматизированное проектирование; система автоматизированного проектирования; модели.

Тема 2. Состав и структура САПР. Понятия: подсистемы; комплексы средств автоматизированного проектирования; программно-технические и программно-методические комплексы.

Тема 3. Виды обеспечения САПР. Математическое обеспечение; информационное обеспечение; программное обеспечение; техническое обеспечение и другие виды обеспечения.

Тема 4. Классификация САПР. Цель классификации. Основные признаки, классифицирующие САПР. Ориентированность проектирования САПР. Системы: CAD; CAE; CAPP; CAM; PPS; CAQ; PDM; CIM. Схема интеграции различных подсистем и модулей.

Тема 5. Методики автоматизированного проектирования. Метод прямого проектирования. Метод анализа. Порядок формирования баз данных для реализации метода анализа на примере типовой задачи. Метод синтеза. Порядок реализации метода синтеза. Таблицы соответствия. Принципиальная схема технологического процесса.

Тема 6. Типовые программные модули. Обзор типовых CAD-CAE-CAPP-CAM систем. Их назначение, особенности применения.

Тема 7. Система T-FLEX CAD. Возможности системы. Особенности работы с системой. Возможности интеграции T-FLEX CAD с другими программными модулями.

Тема 8. Система SOLIDWORKS. Возможности системы. Особенности работы с системой. Возможности интеграции SOLIDWORKS с другими программными модулями.

Тема 9. Система КОМПАС-3D. Возможности интеграции КОМПАС-3D с другими программными модулями. Методы построения 3D моделей типовых деталей. Особенности выполнения типовых операций: выдавливание; вращение; кинематическая; по сечениям на примере детали «рукоятка». Методы построения 3D моделей типовых деталей. Особенности выполнения типовых операций: «булева операция»; «элементы листового тела»; «массив»; «ребро жесткости»; «вспомогательная геометрия» на примере детали «корпус». Параметрическое проектирование. Понятие «параметризация»; наложение связей и ограничений на геометрические объекты моделей и чертежей; создание таблиц переменных; управление элементами модели через систему переменных.

Тема 10. Обзор типовых CAD-CAM систем. SOLIDWORKSCAM; КОМПАС ЧПУ, SprutCam, Esprit; MasterCam; ADEM и др. Назначение, основные принципы и приемы работы при создании управляющих программ для станков с ЧПУ. Пример создания параметризированной модели детали типа «тело вращения» с последующей генерацией управляющей программы для станка с ЧПУ в режиме «сквозного проектирования».

## 1.2 ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ, ИХ НАЗВАНИЕ

1.2.1. Лабораторная работа №1. Возможности CAD КОМПАС 3D. Построение твердотельных моделей различными методами.

1.2.2. Лабораторная работа №2. Создание ассоциативных чертежей в КОМПАС 3D.

1.2.3. Лабораторная работа №3. Задание параметрических связей в 3D моделях.

1.2.4. Лабораторная работа №4. Построение тел вращения в системе CAD-CAM с разработкой управляющей программы для токарного станка с ЧПУ в режиме «сквозного проектирования».

1.2.5. Лабораторная работа №5. Построение корпусной детали в системе CAD-CAM с разработкой управляющей программы для фрезерного станка с ЧПУ в режиме «сквозного проектирования».

## 2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1 Учебно-методическая карта учебной дисциплины для дневной формы получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
	4 семестр						
	Введение						
	Дисциплина, её предмет, цели и задачи. Предмет курса, общие понятия. Цель и задачи изучения дисциплины. Основные принципы создания компьютерно-интегрированного машиностроительного предприятия. Понятие «Сквозная САПР».	0,5	-	-	-	2	Зачет
1	САПР как объект проектирования					-	Зачет
1.1	Основные понятия: проектирование; автоматизированное проектирование; система автоматизированного проектирования; модели.	0,5	-	-	-	2	Зачет
2	Состав и структура САПР.						Зачет
2.1	Понятия: подсистемы; комплексы средств автоматизированного проектирования; программно-технические и программно-методические комплексы.	0,5	-	-	-	2	Зачет
3	Виды обеспечения САПР.						Зачет
3.1	Математическое обеспечение; информационное обеспечение; программное обеспечение; техническое обеспечение и другие виды обеспечения.	0,5	-	-	-	2	Зачет
4	Классификация САПР.						Зачет
4.1	Цель классификации. Основные признаки, классифицирующие САПР. Ориентированность проектирования САПР.	1	-	-	-	2	Зачет
4.2	Системы: CAD; CAE; CAPP; CAM; PPS; CAQ; PDM; CIM. Схема интеграции различных подсистем и модулей.	1	-	-	-	2	Зачет
5	Методики автоматизированного проектирования						Зачет
5.1	Метод прямого проектирования. Метод анализа. Порядок формирования баз данных для реализации метода анализа на примере типовой задачи.	1	-	-	-	2	Зачет

5.2	Метод синтеза. Порядок реализации метода синтеза. Таблицы соответствия. Принципиальная схема технологического процесса.	1	-	-	-	2	Зачет
6	Типовые программные модули.						Зачет
6.1	Обзор типовых CAD-CAE-CAPP-CAM систем. Их назначение, особенности применения.	1	-	-	-	2	
7.	Система T-FLEX CAD.						Зачет
7.1	Возможности системы. Особенности работы с системой. Возможности интеграции T-FLEX CAD с другими программными модулями.	1	-	-	-	4	Зачет
8	Система SOLIDWORKS.						Зачет
8.1	Возможности системы. Особенности работы с системой. Возможности интеграции SOLIDWORKS с другими программными модулями.	1	-	-	-	4	Зачет
9	Система КОМПАС-3D.						Зачет
9.1	Возможности интеграции КОМПАС-3D с другими программными модулями. Методы построения 3D моделей типовых деталей.	1	8	-	-	4	Зачет
9.2	Особенности выполнения операций: выдавливание; вращение; кинематическая; по сечениям на примере типовой детали.	1	4	-	-	6	Зачет
9.3	Методы построения 3D моделей типовых деталей. Особенности выполнения типовых операций: «булева операция»; «элементы листового тела»; «массив»; «ребро жесткости»; «вспомогательная геометрия» на примере типовой детали.	1	8	-	-	8	Зачет
9.4	Параметрическое проектирование. Понятие «параметризация»; наложение связей и ограничений на геометрические объекты моделей и чертежей; создание таблиц переменных; управление элементами модели через систему переменных.	1	8	-	-	6	Зачет
10	Обзор типовых CAD-CAM систем.						Зачет
10.1	SprutCam, Esprit; MasterCam; ADEM и др. Назначение, основные принципы и приемы работы при создании управляющих программ для станков с ЧПУ.	1	-	-	-		Зачет
10.2	Пример создания параметризированной модели детали с последующей генерацией управляющей программы для станка с ЧПУ в режиме «сквозного проектирования» в среде SOLIDWORKS.	1	-	-	-	6	Зачет
10.3	Пример создания параметризированной модели детали с последующей генерацией управляющей программы для станка с ЧПУ в режиме «сквозного проектирования» в среде КОМПАС.	1	6	-	-	4	Зачет
	ИТОГО:	16	34	-	-	60	

## 2.2 Учебно-методическая карта учебной дисциплины для заочной сокращенной формы получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
	4 семестр						
	Введение						
	Дисциплина, её предмет, цели и задачи. Предмет курса, общие понятия. Цель и задачи изучения дисциплины. Основные принципы создания компьютерно-интегрированного машиностроительного предприятия. Понятие «Сквозная САПР».	0,25	-	-	-	2	Зачет
1	САПР как объект проектирования					-	Зачет
1.1	Основные понятия: проектирование; автоматизированное проектирование; система автоматизированного проектирования; модели.	-	-	-	-	2	Зачет
2	Состав и структура САПР.						Зачет
2.1	Понятия: подсистемы; комплексы средств автоматизированного проектирования; программно-технические и программно-методические комплексы.	-	-	-	-	2	Зачет
3	Виды обеспечения САПР.						Зачет
3.1	Математическое обеспечение; информационное обеспечение; программное обеспечение; техническое обеспечение и другие виды обеспечения.	-	-	-	-	2	Зачет
4	Классификация САПР.						Зачет
4.1	Цель классификации. Основные признаки, классифицирующие САПР. Ориентированность проектирования САПР.	0,25	-	-	-	2	Зачет
4.2	Системы: CAD; CAE; CAPP; CAM; PPS; CAQ; PDM; CIM. Схема интеграции различных подсистем и модулей.	0,5	-	-	-	4	Зачет
5	Методики автоматизированного проектирования						Зачет
5.1	Метод прямого проектирования. Метод анализа. Порядок формирования баз данных для реализации метода анализа на примере типовой задачи.	-	-	-	-	4	Зачет
5.2	Метод синтеза. Порядок реализации метода синтеза. Таблицы соответствия. Принципиальная схема технологического процесса.	-	-	-	-	4	Зачет
6	Типовые программные модули.						Зачет
6.1	Обзор типовых CAD-CAE-CAPP-CAM систем. Их назначение, особенности применения.	-	-	-	-	4	
7.	Система T-FLEX CAD.						Зачет
7.1	Возможности системы. Особенности работы	-	-	-	-	8	Зачет

	с системой. Возможности интеграции T-FLEX CAD с другими программными модулями.						
8	Система SOLIDWORKS.						Зачет
8.1	Возможности системы. Особенности работы с системой. Возможности интеграции SOLIDWORKS с другими программными модулями.	-	-	-	-	8	Зачет
9	Система КОМПАС-3D.						Зачет
9.1	Возможности интеграции КОМПАС-3D с другими программными модулями. Методы построения 3D моделей типовых деталей.	1	4	-	-	6	Зачет
9.2	Особенности выполнения типовых операций: выдавливание; вращение; кинематическая; по сечениям на примере детали «вал».	2	4	-	-	8	Зачет
9.3	Методы построения 3D моделей типовых деталей. Особенности выполнения типовых операций: «булева операция»; «элементы листового тела»; «массив»; «ребро жесткости»; «вспомогательная геометрия» на примере детали «корпус».	-	-	-	-	8	Зачет
9.4	Параметрическое проектирование. Понятие «параметризация»; наложение связей и ограничений на геометрические объекты моделей и чертежей; создание таблиц переменных; управление элементами модели через систему переменных.	-	-	-	-	10	Зачет
10	Обзор типовых CAD-CAM систем.						Зачет
10.1	SprutCam, Esprit; MasterCam; ADEM и др. Назначение, основные принципы и приемы работы при создании управляющих программ для станков с ЧПУ.	-	-	-	-	8	Зачет
10.2	Пример создания параметризированной модели детали с последующей генерацией управляющей программы для станка с ЧПУ в режиме «сквозного проектирования» в среде SOLIDWORKS.	-	-	-	-	8	Зачет
10.3	Пример создания параметризированной модели детали с последующей генерацией управляющей программы для станка с ЧПУ в режиме «сквозного проектирования» в среде КОМПАС.	-	-	-	-	8	Зачет
	ИТОГО:	4	8	-	-	98	

### 3 ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Перечень литературы (учебной, учебно-методической, научной, нормативной, др.).

Основная:

1. Белов П. С. САПР технологических процессов : учебное пособие / П. С. Белов, О. Г. Драгина – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 154 с. – ISBN 978-5-4497-1326-1.
2. Проектирование технологий машиностроения на ЭВМ: Учебник для вузов/ О.В. Таратынов, Б.М. Базров и др., Под ред. О.В. Таратынова. – М.: МГИУ, 2006. – 519 с.
3. Системы автоматизированного проектирования в 9-ти книгах (кн. 6 – автоматизация конструкторского и технологического проектирования; кн. 7 – задачи по САПР).
4. Электронные источники – Web-сервер: <http://ascon.ru>; Образовательная программа: E-mail: [edu@ascon.ru](mailto:edu@ascon.ru).
5. Азбука КОМПАС-3D – [kompas.ru/source/info\\_materials/...](http://kompas.ru/source/info_materials/...)

6. Официальный сайт компании SolidWorks: URL: <http://solidworks.dwg.ru>.

7. Официальный сайт компании Топ Системы: <http://tflex.ru>.

Дополнительная литература:

8. ГОСТ 23501.01-79 – «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения».

9. Инженерные расчеты в Excel – Рональд У. Ларсен.

10. Бунаков П.Ю., Рудин Ю.И., Стариков А.В. Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов/ Учебник по дисциплине «Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов» для студентов специальности. Под ред. С.Н. Рыкунина, - М.: МГУЛ, 2008. - 194 с.: ил.; URL: <http://www.twirpx.com/file/255605/>.

11. Официальный сайт Планета САМ: <http://www.planetacam.ru>.

3.2 Перечень методических указаний и материалов, наглядных и других пособий, технических средств обучения, оборудования для выполнения лабораторных работ.

Методические указания

1. Создание параметрических фрагментов в редакторе КОМПАС: методические указания по дисциплинам «Основы САПР», «САПР технологических процессов», «САПР технологических процессов автоматизированных производств» для студентов машиностроительных специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной и заочной форм обучения / БрГТУ; Я.В. Кудрицкий, А.М. Левданский – Брест 2011.

2. Web-сервер: <http://ascon.ru>; Образовательная программа:

E-mail: [edu@ascon.ru](mailto:edu@ascon.ru).

3. Компьютерный класс с установленным программным обеспечением.

3.3. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности

Средства диагностики результатов учебной деятельности включают:

1. Текущая аттестация.

2. Отчеты в электронном виде по лабораторным занятиям с их устной защитой.

3. Зачет в виде решения тестовых задач на компьютере.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в виде:

- выполнение тестового задания на компьютере;

При расчете итоговой отметки по текущей аттестации учитывается объем качественно выполненных к моменту аттестации лабораторных работ (в соответствии с учебно-методической картой учебной дисциплины).

В семестре предусмотрена одна текущая аттестация.

Обучающиеся допускаются к промежуточной аттестации по учебной дисциплине при условии успешного прохождения текущей аттестации.

Результаты текущей аттестации учитываются при проведении промежуточной аттестации по учебной дисциплине.

Промежуточная аттестация по учебной дисциплине проводится в форме письменного зачета в виде тестирования или электронных тестов.

3.4 Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся учебной дисциплине

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы в соответствии с п. 3 Положения о самостоятельной работе обучающихся учреждения образования «Брестский государственный технический университет», утвержденного ректором БрГТУ №56 от 01.06 .2020:

- самостоятельное изучение тем лекционного курса по литературным источникам и методическим указаниям, имеющимся в библиотеке БрГТУ и указанным в разделе 3 настоящей программы;

- самостоятельная подготовка к выполнению лабораторных работ по методическим указаниям, разработанным на кафедре машиностроения и эксплуатации автомобилей и указанным в разделе 3 настоящей программы;

- самостоятельная работа под контролем преподавателя во время лабораторных занятий по расписанию по индивидуальным заданиям;

- самостоятельная подготовка к зачету.

Самостоятельное изучение тем лекционного курса выполняется по следующим литературным источникам:

Номер темы	Название раздела, темы	Номер литературного источника
1	САПР как объект проектирования	[1, 2, 3]
2	Состав и структура САПР	[1, 2, 3]
3	Виды обеспечения САПР	[1, 2, 3]
4	Классификация САПР	[1, 2, 3]
5	Методики автоматизированного проектирования	[1, 2, 3]
6	Типовые программные модули	[1, 2, 3]
7	Система T-FLEX CAD	[7]
8	Система SOLIDWORKS	[6]
9	Система КОМПАС-3D	[4, 5]
10	Обзор типовых CAD-CAM систем	[11]

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Технология машиностроения	Машиностроение и эксплуатация автомобилей		Рекомендовать к утверждению (протокол № от . .2024) Зав. кафедрой МЭА С.В. Монтик
2. САПР технологических процессов	Машиностроение и эксплуатация автомобилей		

Содержание учебной программы согласовано с выпускающей кафедрой  
Заведующий выпускающей кафедрой,  
кандидат технических наук, доцент

С.В. Монтик