Белорусский национальный технический университет

**Учебно - методический комплекс**

# Основы конструирования и САПР

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ....6
РАЗДЕЛ 1 ОСНОВНОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ....7
Тема 1.1 История создания и развития САПР....20
Тема 1.2 Понятие о системах CAD/CAM/CAE (сквозные САПР)....25
Тема 1.3 Классификация ЭВМ....27
Тема 1.4 Организационное обеспечение САПР....30
РАЗДЕЛ 2 ПРЕДМЕТ И ОБЛАСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАУКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА....36
Тема 2.1Теоретические основы инженерного творчества....36
Тема 2.2 Элементы процесса удовлетворения общественных потребностей....41
Тема 2.3 Определение науки технического творчества....43
Тема 2.4 Элементы науки технического творчества имеют методологическое значение.....44
Тема 2.5 Теория предмета технического творчества....45
Тема 2.6 Методология технического творчества....46
Тема 2.7 Теория записи конструкции....47
Тема 2.8 Теория записи конструкции....48
РАЗДЕЛ 3 ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО....49
Тема 3.1 Условия создания и действия технического средства....50
Тема 3.2 Технический мегакомплекс....51
Тема 3.3 Антропотехнические и социотехнические комплексы....53
РАЗДЕЛ 4 СИСТЕМА, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЦЕСС УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ.54
Тема 4.1 Разновидности отношений в технических системах....55
Тема 4.2 Понятие черного ящика....57
Тема 4.3 Потребность — действие — система — функционирующий комплекс....58
РАЗДЕЛ 5 ИЗДЕЛИЕ....60
Тема 5.1 Проект и изделие....61
Тема 5.2 Массовое производство изделий....62
Тема 5.3 Техническая информация в процессе изготовления....64
Тема 5.4 Развитие специализации производства и конструирования....65
РАЗДЕЛ 6 КОНСТРУКЦИЯ....66
Тема 6.1 Структуры изделия....68
Тема 6.2 Понятие конструктивной характеристики....70
Тема 6.3 Конструктивные характеристики вещества....71

Тема 6.4 Запись Конструкции ....73
Тема 6.5 Технические чертежи ....74
Тема 6.6 Принципы и правила записи конструкции ....75
Тема 6.7 Запись комплекса размеров ....77
РАЗДЕЛ 7 СИСТЕМА, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЦЕСС УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ.79
Тема 7.1 Проектирование, конструирование и капиталовложения ....79
Тема 7.2 Проектирование в самом широком смысле ....81
Тема 7.3 Системное единство производства и эксплуатации ....83
Тема 7.4 Информационная система как основа сложного действия ....85
РАЗДЕЛ 8 ОПТИМИЗАЦИЯ ....86
Тема 8.1 Стремление к оптимизации — врожденная человеческая склонность ....86
Тема 8.2 Сложная оптимизация ....88
Тема 8.3 Дивергентно-конвергентный процесс ....89
Тема 8.4 Метод взвешенных оценок ....90
Тема 8.5 Прогнозируемые оптимумы ....91
РАЗДЕЛ 9 КОМПЛЕКС КРИТЕРИЕВ ....93
Тема 9.1 Проблема выбора критериев ....93
Тема 9.2 Обоснование целесообразности создания технического средства ....94
Тема 9.3 Критерии классификации технического средства ....95
и изделия ....95
Тема 9.4 Стереотипные критерии ....96
РАЗДЕЛ 10 ОСНОВЫ НОРМАЛИЗАЦИИ ....97
Тема 10.1 Закон ограниченного многообразия ....97
Тема 10.2 Принципы конструкции ....98
РАЗДЕЛ 11 ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ ....99
Тема 11.1 Действие — способ — метод ....99
Тема 11.2 Системный подход ....100
Тема 11.3 Часть и целое как проблема проектирования ....101
РАЗДЕЛ 12 АРТЕФАКТ В СИСТЕМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ....102
Тема 12.1 Установление потребностей ....103
Тема 12.2 Ключевая проблема ....104
Тема 12.3 Потребности как результат творческих технических действий ....105
Тема 12.4Потребность в системе ....106
РАЗДЕЛ 13 МЕТОД ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ....107
Тема13.1 эвристический прием ....107

Тема13. 2 Межотраслевой фонд эвристических ....111
приемов ....111
Тема 13.3. Постановка задачи и ее решение....114
Тема 13.4 Индивидуальный фонд эвристических приемов ....118
Тема 13.4 Выбор стратегий и методов ....121
РАЗДЕЛ 14 ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ....127
Тема 14.1 Теоретические основы проектирования и конструирования.....127
Тема 14.2 Методология проектирования, как проектного изыскания. ....129
Тема 14.3. Обзор новых методов ....135
Тема 14. 4 Методы управления проектными работами....145
Тема 14.5 Расчлененный процесс проектирования....147
Тема 14.6 Проектирование как трехступенчатый процесс....158
РАЗДЕЛ 15 ПОНЯТИЕ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ» ....162
Тема 15.1 Список требований ....164
Тема 15.2 Критерии развития, показатели качества и список недостатков технического объекта ....167
РАЗДЕЛ 16 СХЕМА РЕШЕНИЯ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ....168
Тема 16. 1 Закон прогрессивной эволюции техники ....173
Тема 16.2 Функционально- стоимостный анализ технических объектов....179
РАЗДЕЛ 17 СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ....182
Тема 17.1 AutoCAD Plant 3D v2010....182
Тема 17.2 Bentley AutoPLANT ....186
Тема 17.3 Aveva....188
Тема 17.4 Pro/ENGINEER....191
Тема 17.5 Mathcad и MAS....194
Тема 17.6 MATLAB ....201
Тема 17.7 SolidWorks ....203
Тема 17.8 AutoCAD....206
Тема 17.9 Компас-3D ....208
Тема 17.10 АСКУЭ и АСУ ТП....210
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ....213
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ....215
AutoCAD ....215
2D МОДЕЛИРОВАНИЕ....215

Лабораторная работа №1 ..... 215
Лабораторная работа №2 ..... 223
Лабораторная работа №3 ..... 230
Лабораторная работа №4 ..... 233
Лабораторная работа №5 ..... 236
Лабораторная работа №6 ..... 239
Лабораторная работа №7 ..... 244
Лабораторная работа №8 ..... 248
Лабораторная работа №9 ..... 251
Лабораторная работа №10 ..... 256
3D МОДЕЛИРОВАНИЕ ..... 260
Лабораторная работа №1 ..... 260
Лабораторная работа №2 ..... 265
Лабораторная работа №3 ..... 271
Лабораторная работа №4 ..... 275
Лабораторная работа№5 ..... 289
Лабораторная работа №6 ..... 300
Лабораторная рабоат№7 ..... 310
Лабораторная работа №8 ..... 332
MathCAD ..... 353
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. Основы работы с MathCAD ..... 353
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ..... 373
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ВЕКТОРЫ И МАТРИЦЫ ..... 385
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ..... 392
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. СИМВОЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ..... 405
ПРИМЕР КУРСОВОГО ПРОЕКТА ..... 413
УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ..... 421
ПЕРЕЧЕНЬ контрольных вопросов к зачету по дисциплине "Основы конструирования и САПР" ..... 432

# ВВЕДЕНИЕ

Увеличение производительности труда разработчиков новых изделий, сокращение сроков проектирования, повышение качества разработки проектов - важнейшие проблемы, решение которых определяет уровень ускорения научно-технического прогресса общества. Развитие систем автоматизированного проектирования (САПР) опирается на прочную научно-техническую базу. Это - современные средства вычислительной техники, новые способы представления и обработки информации, создание новых численных методов решения инженерных задач и оптимизации. Системы автоматизированного проектирования дают возможность на основе новейших достижений фундаментальных наук отрабатывать и совершенствовать методологию проектирования, стимулировать развитие математической теории проектирования сложных систем и объектов. В настоящее время созданы и применяются в основном средства и методы, обеспечивающие автоматизацию рутинных процедур и операций, таких, как подготовка текстовой документации, преобразование технических чертежей, построение графических изображений и т.д.

# РАЗДЕЛ 1 ОСНОВНОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Задачи, которые решаются при автоматизации процессов современного сельскохозяйственного производства, требуют от специалистов как знаний принципов построения и функционирования приборов автоматизации, методов построения систем автоматического управления, так и овладения общим техническим языком, посредством которого можно четко и однозначно обмениваться разработками в области автоматизации технологических процессов. Речь идет о том, что логически и технически продуманная система автоматики должна быть представлена на языке, одинаково понятном для специалистов, занимающихся вопросами монтажа, наладки и эксплуатации систем автоматики. Такое взаимопонимание обеспечивается посредством специально разрабатываемой технической документации, которая называется *проектом автоматизации технологического процесса.* Поэтому независимо от места работы инженер по автоматизации технологических процессов должен свободно читать проекты и уметь их разрабатывать и осуществлять.

Рассматривая понятие «проектирование», можно видеть, как постепенно исторически меняется представление о нем как о процессе планирования и информационной подготовки образа объекта проектирования до «предопределения изменения реальной действительности». По своей сути, инженерное проектирование предваряет и обосновывает внедрение в производство нотационной технической системы, установки, процесса, оптимальных с точки зрения системы определенных критериев. Проектирование - это выражение идей технического творчества на техническом языке. Как показывают современные методологии, цель проектирования заключается в предопределении изменения реальной действительности. Эта цель достигается через «разработку комплексной технической документации (проекта), содержащей технико-экономические

обоснования, расчеты, чертежи, макеты, сметы, пояснительные записки и др. материалы, необходимые для строительства населенных пунктов, предприятий, сооружений, производства оборудования, изделий и т. д.». Это, в свою очередь, предполагает детальную разработку сущности изменения реальности или объекта проектирования.

Так как объекта проектирования фактически не существует (он знаковый, виртуальный, идеальный), то нет возможности описать его сразу без последующих исправлений и уточнений. То есть при проектировании идет процесс принятия решений укрупнено, а затем все с большей степенью конкретизации, обращением на каждом этапе к целям, в сравнении и с доработкой в соответствии с этим деталей проекта и решения в целом. За счет использования каких инструментов достигается это приближение раскрывает определение, данное в ГОСТ 22487-77: «Это процесс составления описания, необходимого для создания еще не существующего объекта (алгоритма его функционирования или алгоритма процесса), путем преобразования первичного описания, оптимизации заданных характеристик объекта (или алгоритма его функционирования), устранения некорректности первичного описания и последовательного представления (при необходимости) описаний на различных языках». И дополняет это определение еще одно: «Это моделирование того, что мы хотим выполнить, осуществляемое (до момента самого выполнения) неоднократно до тех пор, пока мы не убедимся в положительности конечного результата» (П. Букер). Таким образом, проектирование выступает как процесс принятия решений, все более детальных на каждом этапе и все более приближающих описание объекта, изложенного в техническом задании, к реальному с помощью преобразования, оптимизации, моделирования.

Поэтому проектирование - это постоянный процесс выбора и обоснования альтернативного решения. Еще одну черту инженерного проектирования раскрывает следующее определение: «Инженерное проектирование - это использование научных основ, технической ин-

формации и воображения для синтеза механической структуры, машины или системы, которая с минимальными затратами и максимальной эффективностью выполняла бы предписанные ей функции» (Д. Фельден). Научное обоснование проекта обязательно должно предполагать рассмотрение вопросов безопасного для окружающей среды внедрения объекта, что налагает огромную ответственность на разработчика: «Это принятие решений в условиях неуверенности и высокой ответственности за ошибку» (М. Азимов).

Таким образом, определение проектирования можно конкретизировать следующим образом: *инженерное проектирование* - это процесс научной разработки необходимого для создания еще не существующего предмета проектирования описания на определенном знаковом языке (техническом) прообраза объекта, отвечающего функциональным, техническим, экологическим, экономическим, эргономическим и другим требованиям. Проектирование осуществляется путем преобразования первичного описания предмета, тщательного и всестороннего исследования, выработки концептуального решения на основе и анализе технической информации, неоднократного моделирования, оптимизации заданных характеристик объекта (или алгоритма его функционирования), неоднократного сравнения с целями проектирования, устранения некорректности первичного описания и приведения к детальному решению в условиях высокой ответственности, нередко ограниченности во времени, который характеризуется минимальными затратами (со стороны производителя и потребителя) и максимальной эффективностью выполнения предписанных функций в конкретных условиях включенности в окружающую среду.

Инженерное проектирование, являясь сложным процессом, постоянно развивается в соответствии с необходимостью решения все усложняющихся современных задач. Обладая характеристиками возрастающей информационной насыщенности, многовариативностью принятых решений, использованных методов и критериев оценки результата, инженерное

проектирование сегодня обеспечивается сложной технологией, основу которой составляют отдельные этапы, операции и методы. Так, в процессе проектирования систем автоматизации обязательными этапами являются предпроектные изыскания, составление технического задания с одновременным определением комплекса требований к проектируемой системе, анализ вариантов технического решения проектной задачи и выбор наиболее рационального, детальная проработка технического решения, оформление решения в проектной документации, технико-экономическое обоснование принятого решения.

Инженерное проектирование подразделяется по области приложения на архитектурно-строительное, машиностроительное, дорожное, технологическое, сельскохозяйственное и т. д.; по типу изображения: чертежное и объемное; по включению в производство: типовое и индивидуальное, несложное и сложное; по характеру объекта: проектирование единичного простого изделия, проектирование системы и проектирование системы, встроенной в систему. В соответствии с данной классификацией разделяют системы нормативов по проектированию: единая система конструкторской документации (ЕСКД) - машиностроительное проектирование; система проектирования в строительстве (СПДС) - архитектурно-строительное проектирование; система разработки и постановки продукции на производство (СРП 111) - технологическое проектирование; комплекс стандартов на электроустановки зданий и т. д.

ЕСКД - комплекс стандартов, устанавливающих взаимосвязанные нормы и правила по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделия (при проектировании, изготовлении, эксплуатации, ремонте и др.) .

СПДС - комплекс нормативных организационно-методических документов, устанавливающих общетехнические требования, необходимые для

разработки, учета, хранения и применения проектной документации для строительства объектов различного назначения .

СРПП - комплекс взаимосвязанных основополагающих организационно-методических и общетехнических государственных стандартов, устанавливающих основные положения, правила и требования, обеспечивающие техническое и организационное единство выполняемых работ на стадиях жизненного цикла продукции, включающих исследование и обоснование разработки, разработку, производство, эксплуатацию (применение, хранение) продукции и ремонт (для ремонтируемой продукции), а также взаимодействие заинтересованных сторон.

Комплекс стандартов на электроустановки зданий содержит требования по проектированию, монтажу, наладке и испытанию электроустановок, а также к выбору электрооборудования, обеспечивающие их безопасность и удовлетворительную работу при условии использования по назначению.

Проектирование систем автоматизации основывается на системе стандартов СПДС. Однако при необходимости используются ссылки на другие системы стандартов (в основном ЕСКД).

Особенности проектирования систем автоматизации определяются потребностями сельскохозяйственного производства. Технологические процессы сельскохозяйственного производства тесно связаны с биологическими процессами, остановить которые даже временно нельзя. Это приводит к необходимости системного многоаспектного анализа исходных данных, учета требований, связанных с разными сторонами сельскохозяйственной технологии и, как следствие, тесного общения и взаимодействия с другими специалистами АПК. В данных условиях успешность проектирования зависит от умения находить варианты оригинального технического решения, применять нестандартные эвристические подходы при поиске решения, неоднократно оценивать результат, выявляя последствия от реализации принятого решения. Все это

обусловливает необходимость постоянного соотнесения технического решения с системой взаимосвязанных требований, всесторонней оценки, корректировки решения и рефлексии.

Задача проектирования является одной из важных и наиболее трудоемких. Сократить временные затраты и несколько облегчить труд проектировщика позволяет применение современных методов разработки проекта с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР - человеко-машинная система управления процессом проектирования, представляющая собой автоматизированную систему управления технологическим процессом создания технической документации, необходимой для изготовления проектируемого объекта). САПР включает коллектив проектировщиков, умеющий работать с новыми методами проектирования с помощью ЭВМ; технические средства; новую организационную структуру, приспособленную эффективно эксплуатировать технические средства и программное обеспечение САПР; машинно-ориентированные методики, инструкции и нормативные материалы, развитое программное обеспечение и специальное математическое обеспечение, а также специальные проблемно-ориентированные языки. Поэтому САПР можно определить как систему технических и программных средств с методическим сопровождением, автоматизирующую проектирование объектов (процессов) некоторого класса.

Современные САПР обеспечивают высокое качество проекта, минимальные затраты на выпуск проекта, соответствие документов проекта нормативным требованиям.

Поэтому инженер по автоматизации технологических процессов и производств должен освоить технологию разработки проекта автоматизации, в том числе в среде современных САПР. Уровень овладения технологией инженерного проектирования определяет успешность становления инженера как специалиста, способного воспринимать технические новшества, разрабатывать и внедрять инновации, поскольку проектирование предваряет

и обосновывает внедрение в производство технической системы, установки, процесса, оптимальных с точки зрения системы определенных критериев.

«Проектирование и САПР систем автоматизации» является специальной дисциплиной. В соответствии со своим местом в учебном процессе дисциплина формирует базу знаний и умений, обеспечивающих решение задач по проектированию систем автоматического управления технологическими процессами.

С учетом вышеизложенного, ***целью учебной дисциплины «Проектирование и САПР систем автоматизации» является*** формирование профессиональных знаний, умений и практических навыков проектирования систем автоматизации технологических процессов с помощью компьютера.

**Задачи дисциплины:**

- ознакомление с основными нормативными документами, нормами, методами проектирования систем автоматизации;
- изучение нормативных требований, методик расчета, анализа, моделирования, сравнения, оценки при разработке проекта систем автоматизации;
- закрепление современных методов поиска, обработки и использования информации;
- освоение технологии инженерного проектирования систем автоматизации сельскохозяйственного производства, принципов разработки проектной документации систем автоматизации в среде пакетов САПР;
- формирование умений и навыков применения современной технологии проектирования при решении основного класса задач проектирования систем автоматизации;
- формирование умения работать в команде и способности к межличностным коммуникациям.

В результате изучения дисциплины студент должен: • *знать* положения ГОСТов, ОСТов, руководящих технических материалов и других нормативных документов по проектированию

систем автоматизации; технические, экономические, экологические и социальные требования к проектируемым объектам, критерии оценки качества проекта автоматизации; теоретические основы и технологию проектирования систем автоматизации; принципы работы в современных пакетах электротехнических САПР, а также методы их адаптации; принципы и особенности разработки документации проекта автоматизации в среде пакетов современных САПР;

• *уметь* пользоваться проектной документацией, технической и нормативно-справочной литературой по автоматизации сельскохозяйственного производства; собирать, изучать и анализировать исходные данные для разработки проекта автоматизации; реализовывать технологию инженерного проектирования, используя современные методы и последние научно-технические достижения; решать инженерные задачи проектирования систем автоматизации, пользуясь пакетом САПР, формировать проектную документацию с помощью пакета САПР; определять надежность и применять средства повышения надежности системы; обосновывать основные решения технико-экономическими расчетами и делать обоснованные выводы;

• *иметь представление* о стадиях проектирования, содержании проекта автоматизации технологических процессов, об основных нормативных требованиях к разрабатываемой проектной документации, о системах автоматизированного проектирования, технологии проектирования с помощью компьютера.

Всего около четверти века назад каждый чертеж, произведенный на свет, был сделан карандашом или тушью. Любое изменение требовало подчистки либо даже перечерчивания. Теперь это уже история. CAD-системы не только изменили методы подготовки чертежей, но и внесли фундаментальные изменения в процесс проектирования. В настоящее время при сотрудничестве с зарубежными компаниями необходимо представление

всей документации в электронном виде. Продаваемый продукт и его производство подлежат международной сертификации, подтверждающей их высокие характеристики. Сертифицирование проходят не только само изделие, но и методы его проектирования, изготовления, способы и формы передачи информации об изделии. Для прохождения сертифицирования необходимо оснастить рабочие места конструктора и технолога компьютерными и программными продуктами.

Деятельность значительной части фирм и отдельных коллективов в промышленно развитых странах во многом зависит от их способности накапливать и перерабатывать информацию. Сегодня без компьютерной автоматизации уже невозможно производить современную сложную технику, требующую высокой точности. Во всем мире наблюдается резкое увеличение использования ЭВМ на производстве и дома. Внедрение компьютерных и телекоммуникационных технологий повышает эффективность и производительность труда. Отставание в области высоких технологий может привести к превращению страны в сырьевой придаток цивилизованного мира.

Сейчас происходит быстрый рост систем автоматизированного проектирования (САПР) в таких отраслях, как авиастроение, автомобилестроение, тяжелое машиностроение, в архитектуре, строительстве, нефтегазовой промышленности, в области картографии, геоинформационных систем, при производстве товаров народного потребления, в частности бытовой электротехники. САПР в машиностроении используется для проведения конструкторских, технологических работ и работ по технологической подготовке производства. С помощью САПР выполняется разработка чертежей, проводится трехмерное моделирование изделия и процесса сборки, проектируется вспомогательная оснастка, например штампы и пресс-формы, составляется технологическая документация и управляющие программы (УП) для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), ведутся архивы. Современные САПР

применяются для сквозного автоматизированного проектирования, технологической подготовки, анализа и изготовления изделий в машиностроении, для электронного управления технической документацией.

Естественным образом появилась потребность в выпуске журнала о САПР в нашей стране. Ежемесячный журнал «САПР и графика» Издательского дома «КомпьютерПресс» выходит с 1996 года. Сегодня это самое известное и авторитетное периодическое издание в России и странах СНГ, посвященное вопросам автоматизации проектирования, компьютерного анализа, технологической подготовки производства и технического документооборота. Тираж журнала 8 000 экземпляров. Несколько раз в год журнал выходит с приложениями на CD-ROM.

Стремительное развитие систем автоматизированного проектирования в проектных организациях и на машиностроительных заводах способствовало увеличению числа высших и средних учебных заведений, в которых преподается САПР. О внимании, которое уделяется этим системам в промышленно развитых странах, говорит тот факт, что по рекомендациям ЮНЕСКО в базисном учебном плане по информатике и информационным технологиям предусмотрен факультативный блок «Конструирование с помощью компьютера (CAD)».

Инженерная деятельность в современных условиях тесно связана с использованием персональных электронных вычислительных машин (ПЭВМ) и микропроцессоров. В последние годы в инженерной практике вычислительная техника широко применяется для выполнения расчетов, автоматизации проектирования, организации и планирования экспериментальных исследований, для обработки результатов испытания машин, механизмов, аппаратов и для многих других целей. В настоящее время инженеры любой специальности должны приобрести в вузе умения и навыки решения производственных и научных задач с помощью ЭВМ. С этой целью в учебные планы всех инженерных специальностей введены дисциплины, обеспечивающие углубленное изучение математики,

программирования, вычислительной техники, новых информационных технологий.

Сейчас обучение в технических вузах поставлено таким образом, что студенты с первого курса пользуются персональными электронными вычислительными машинами. Если раньше своего рода символом инженерного труда была логарифмическая линейка, то теперь все большее и большее количество студентов имеют в своем личном пользовании ПЭВМ.

Термин САПР "Система автоматического проектирования" (в английской нотации CAD) появился в конце пятидесятых годов, когда Д. Т.Росс начал работать над одноименным проектом в Массачусетском Технологическом Институте (MIT). Первые CAD - системы появились десять лет спустя.

За последние 25 лет CAD - системы, как системы геометрического моделирования, были значительно усовершенствованы: появились средства 3D- поверхностного и твердотельного моделирования, параметрического конструирования, был улучшен интерфейс.

Несмотря на все эти усовершенствования, касающиеся, в основном, геометрических функций, CAD - системы оказывают конструктору слабую помощь с точки зрения ВСЕГО процесса конструкторского проектирования. Они обеспечивают описание геометрических форм и рутинные операции, такие как образмеривание, генерация спецификаций и т.п. Эти ограничения и чисто геометрический интерфейс оставляет методологию конструкторской работы такой же, какой она была при использовании чертежной доски. Развитие получили также системы автоматизации проектирования технологических процессов (CAPP) и программирования изготовления деталей на станках с ЧПУ (CAM). Однако, подобно CAD -системам, эти усовершенствования не затронули ПРОЦЕСС проектирования: CAPP - системы могут генерировать технологические процессы, но только при условии предварительного специального описания изделия с помощью конструкторско - технологических элементов. CAM -системой может быть

использована геометрическая модель CAD - системы, но все функции CAPP - системы (проектирование технологии обработки) - перекладываются на инженера.

Помимо проектирования, инженерная деятельность связана с инженерным бизнесом и менеджментом. Сюда, в частности, входят автоматизированные системы управления производством (АСУПр). Эти системы обычно развиваются без какой - либо интеграции с САПР.

Итак, до последнего времени концепция автоматизации труда конструктора базировалась на принципах геометрического моделирования и компьютерной графики. При этом, системы компьютеризации труда конструкторов, технологов, технологов -программистов, инженеров - менеджеров и производственных мастеров развивались автономно и Инженерные Знания - основа проектирования, оставались вне компьютера. Такое положение не удовлетворяет современным требованиям к автоматизации. Сейчас необходима комплексная компьютеризация инженерной деятельности на всех этапах жизненного цикла изделий, которая получила название CALS (Computer Aided Life-cycle System) технологии. Традиционные САПР с их геометрическим, а не информационным ядром, не могут явиться основой для создания таких систем. Сегодня каждое изделие в процессе своего жизненного цикла должно представляться в компьютерной среде в виде иерархии информационных моделей, составляющих единое целое и имеющих соподчиненность .

В промышленном производстве давно царит жесткая конкуренция. Чтобы выжить в этих нелегких условиях предприятиям приходится как можно быстрее выпускать новые изделия, снижать их себестоимость и повышать качество. В этом им помогают современные системы автоматизированного проектирования (САПР), позволяющие облегчить весь цикл разработки изделий — от выработки концепции до создания опытного образца и запуска его в производство. Тем самым значительно ускоряется процесс создания новой продукции без ущерба качеству. Поэтому сейчас без

САПР не обходится ни одно конструкторское или промышленное предприятие. И хотя на долю указанных систем приходится лишь около 3% рынка ПО, они играют очень важную роль, поскольку помогают создавать товары, без которых невозможно представить нашу повседневную жизнь: автомобили, самолеты, бытовые приборы, промышленное оборудование и, следовательно, являются одной из движущих сил современной промышленности и мировой экономики.

# Тема 1.1 История создания и развития САПР

Идея автоматизировать проектирование зародилась в конце 50-х годов прошлого века, почти одновременно с появлением коммерческих компьютеров. А уже в начале 60-х ее воплотила компания General Motors в виде первой интерактивной графической системы подготовки производства. В 1971 г. создатель этой системы доктор Патрик Хэнретти (Patrick Hanratty) основал компанию Manufacturing and Consulting Services (MCS) и разработал методики, которые составили основу большинства современных САПР. Вскоре появились и другие CAD-пакеты. В то время они работали на мэйнфреймах и мини-компьютерах и стоили очень дорого — в среднем 90 тыс. долл. за одно рабочее место. Очевидно, что лишь крупные предприятия могли позволить себе идти в ногу со временем.

Одновременно стали появляться и первые CAM-программы, позволяющие частично автоматизировать процесс производства с помощью программ для станков с ЧПУ, и CAE-продукты, предназначенные для анализа сложных конструкций. Так в 1971 г. компания MSC.Software выпустила систему структурного анализа MSC. Nastran, которая до сих пор занимает ведущее положение на рынке CAE.

К середине 80-х годов системы САПР для машиностроения обрели форму, которая существует и сейчас. Но впереди их ждало много любопытных перемен. Появление микропроцессоров положило начало революционным преобразованиям в области аппаратного обеспечения — наступила эра персональных компьютеров. Но для трехмерного моделирования мощности первых ПК не хватало. Поэтому в 80-е годы поставщики «серьезных» средств автоматизации проектирования ориентировались на компьютеры на базе RISC-процессоров, работавшие под управлением ОС Unix, — они были намного дешевле мэйнфреймов и мини-машин. Параллельно снижалась стоимость ПО, и к началу 90-х средняя цена рабочего места снизилась до 20 тыс. долл. — САПР становились доступнее.

Но в массовый продукт они превратились лишь тогда, когда компания Autodesk разработала свой знаменитый пакет AutoCAD стоимостью всего 1 тыс. долл. Правда, в те времена ПК были 16-разрядными, и их мощности хватало лишь для двумерных построений — черчения и создания эскизов. Однако это не помешало новинке иметь огромный успех у пользователей.

Наиболее бурное развитие САПР происходило в 90-х годах, когда Intel выпустила процессор Pentium Pro, а Microsoft — систему Windows NT. Тогда на поле вышли новые игроки «средней весовой категории», которые заполнили нишу между дорогими продуктами, обладающими множеством функций, и программами типа AutoCAD. В результате сложилось существующее и поныне деление САПР на три класса: тяжелый, средний и легкий. Такая классификация возникла исторически, и хотя уже давно идут разговоры о том, что грани между классами постепенно стираются, они продолжают существовать, так как системы по-прежнему различаются и по цене, и по функциональным возможностям. Следует добавить, что кроме универсальных САПР также выпускаются и различные специализированные продукты, например, для инженерного анализа, расчета трубопроводов, анализа литья металлов, проектирования металлоконструкций и множества других конкретных задач.

На основе проведенного анализа структуры экспертной системы, можно утверждать, что такая вычислительная среда имеет прямое применение для инженерной деятельности как средство автоматизации проектных работ, если проектирование ведется от прототипа, по восходящей технологии или на высших иерархических уровнях той или иной системы проектирования. Однако, если объект проектирования можно формально описать, возникает потребность, с одной стороны, использовать приемы, характерные для инженерной деятельности, а с другой - привлечь знания математиков для использования формальных методов принятия решения. Кроме того, дальнейшее развитие САПР, по мнению многих разработчиков, должно идти по пути создания вычислительных систем, которые "лояльны" к

пользователю, легко тиражируются и обладают свойством развития. В ближайшее время при построении САПР необходимо обеспечить решение следующих задач: обучение пользователя, которое сводится к обучению входным языкам, представлению справочной информации, адаптированной к характеру запроса, диагностике ошибок и сопровождению пользователя в процессе проектирования; обучение САПР, предполагающее настройку системы на конкретную предметную область или класс проектных процедур; организация диалога в процессе проектирования с целью описания объекта проектирования, технологического задания и заданий на выполнение проектных процедур; изготовление проектной и справочной документации, оформляющей проектные решения; контроль за функционированием системы и отображение статистических данных о количестве и качестве проектных решений.

Одни из наиболее мощных САПР - Unigraphics NX компании EDS, CATIA французской фирмы Dassault Systemes (которая продвигает ее вместе с IBM) и Pro/Engineer от PTC (Parametric Technology Corp.). Главная особенность таких мощных САПР — обширные функциональные возможности, высокая производительность и стабильность работы — все это результат длительного развития.

Важную роль в становлении среднего класса сыграли два ядра твердотельного параметрического моделирования ACIS и Parasolid, которые появились в начале 90-х годов и сейчас используются во многих ведущих САПР. Геометрическое ядро служит для точного математического представления трехмерной формы изделия и управления этой моделью. Полученные с его помощью геометрические данные используются системами CAD, CAM и CAE для разработки конструктивных элементов, сборок и изделий.

Первая чертежная система Sketchpad была создана еще в начале 60-х годов, а затем появилось немало других продуктов такого рода, использующих достижения компьютерной графики. Однако подлинный

расцвет в этой области наступил лишь в 80-е годы с появлением персональных компьютеров. Пионером в этой области стала компания Autodesk, которая в 1983 г. выпустила САПР для ПК под названием AutoCAD.

Таким образом, развитие Систем автоматического проектирования идет двумя путями — эволюционным и революционным. В свое время революционный переворот произвели первые САПР для ПК и системы среднего класса. Сейчас рынок развивается эволюционно: расширяются функциональные возможности продуктов, повышается производительность, упрощается использование. Но, возможно, вскоре нас ждет очередная революция. Аналитики из Cambashi считают, что это произойдет, когда поставщики САПР начнут использовать для хранения инженерных данных (чертежей, трехмерных моделей, списков материалов и т. д.) не файловые структуры, а стандартные базы данных SQL-типа. В результате инженерная информация станет структурированной, и управлять ею будет гораздо проще, чем теперь.

Увеличение производительности труда разработчиков новых изделий, сокращение сроков проектирования, повышение качества разработки проектов - важнейшие проблемы, решение которых определяет уровень ускорения научно-технического прогресса общества. Развитие систем автоматизированного проектирования (САПР) опирается на прочную научно-техническую базу. Это - современные средства вычислительной техники, новые способы представления и обработки информации, создание новых численных методов решения инженерных задач и оптимизации. Системы автоматизированного проектирования дают возможность на основе новейших достижений фундаментальных наук отрабатывать и совершенствовать методологию проектирования, стимулировать развитие математической теории проектирования сложных систем и объектов. В настоящее время созданы и применяются в основном средства и методы, обеспечивающие автоматизацию рутинных процедур и операций, таких, как

подготовка текстовой документации, преобразование технических чертежей, построение графических изображений и т.д.

# Тема 1.2 Понятие о системах CAD/CAM/CAE (сквозные САПР)

**Сквозные системы** - это всеобъемлющий набор средств для автоматизации процессов и технологической подготовки производства, а также различных объектов промышленности. Системы включают в себя полный набор промышленно адаптированных и доказавших свою эффективность программных модулей, функционально охватывающих анализ и создание чертежей, подготовку производства на всех этапах, а также обеспечивающих высокую функциональную гибкость всего цикла производства.

Данная система позволяет выполнять разработку самых сложных технических изделий: жгуты электропроводки, детали из пластмассы, различные механические

конструкции. Это достигается с помощью единого набора программных средств удовлетворяющих специальным требованиям производства.

Системы представляют собой не просто объединенный набор отдельных программных решений, а целостную интегрированную систему взаимосвязанных инструментальных модулей способных функционировать на различных технических платформах, взаимодействовать с другим производственным оборудованием, обрабатывать данные, полученные путем достижения разработок новейшей технологии.

Системы CAD/CAM/CAE позволяют в масштабе целого предприятия логически связывать всю информацию об изделии, обеспечивать быструю обработку и доступ к ней пользователей работающих в разнородных системах. Так же они поддерживают технологию параллельного проектирования и функционирования различных подразделений согласовано выполняющих в рамках единой компьютерной модели операции

проектирования, сборки, тестирование изделия, подготовку производства и поддержку изделия в течение всего его жизненного цикла.

Создаваемая системой модель основывается на интеграции данных и представляет собой полное электронное описание изделия, где присутствует, как конструкторская, технологическая, производственная и другие базы данных по изделию.

Это обеспечивает значительное улучшение качества, снижение себестоимости и сокращение сроков выпуска изделия на рынок.

Каждая система разрабатывается руководствуясь задачами объединения и оптимизации труда разработчиков и принимаемых при этом технологий в масштабах всего предприятия для поддержания данной системой стратегии автоматического проектирования.

# Тема 1.3 Классификация ЭВМ

Технические средства и общее системное программное обеспечение являются инструментальной базой САПР. Они образуют физическую среду, в которой реализуются другие виды обеспечения САПР. Инженер, взаимодействуя с этой средой и решая различные задачи проектирования, осуществляет автоматическое

проектирование технических объектов. Технические средства и общее программное обеспечение в процессе проектирования выполняют и решают такие задачи как :

а) ввода исходных данных описания объекта проектирования;

б) отображения введенной информации с целью ее контроля и редактирования;

в) преобразования информации;

г) хранение и оперативного общения проектировщика с системой; и многие другие функции.

Для решения этих задач технические средства САПР должны содержать процессоры, оперативную память, внешние запоминающие устройства, устройства ввода вывода информации, технические средства машинной графики и многие др. устройства. На сегодняшний день существует очень много разнообразных ЭВМ. Основные технические характеристики по которым ЭВМ разделены на группы это: производительность, емкость оперативного запоминающего устройства, пропускная способность подсистемы ввода-вывода информации, надежность функционирования и др.

ЭВМ, используемые в САПР, можно разделить на две группы:

1) *универсальные общего назначения;*

2) *специализированные*.

Специализированные ЭВМ предназначены для решения узкого круга задач проектирования конкретных технических объектов. Можно условно разделить ЭВМ на группы по цене/производительности, но очень быстрый

прогресс в области разработки вычислительной техники размывают эту границу, превращая сегодняшнюю супер-ЭВМ в простой калькулятор.

Разделяют вычислительные машины на супер-ЭВМ, ЭВМ высокой производительности и ЭВМ средней производительности, они используются в основном для решения сложных вычислительных задач (например, моделирования, параметрической оптимизации и т. п.); мини-ЭВМ служат основой для создания типовых проблемно-ориентированных комплексов; персональные ЭВМ предназначены для текущей повседневной работы инженера; микро-ЭВМ получили широкое распространение, поскольку легко встраиваются в различные устройства САПР.

В начале 90-х годов в нашу страну хлынул большой поток зарубежной вычислительной техники, произошел резкий скачок в развитии Российского рынка компьютерной и оргтехники. Нам стали доступны последние достижения в мире Hardware, Software, Multimedia. Так имея денежные средства можно без лишних усилий приобрести ЭВМ любого класса и любой конфигурации. Принцип открытой архитектуры, впервые используемый фирмой IBM, сделал самыми распространенными IBM-совместимые компьютеры. По классам их можно подразделить на *офисные компьютеры, сетевые рабочие станции, графические станции, файл-серверы, видео-серверы, компьютеры мультимедиа, Desktop, Laptop.* Представители каждой группы имеют различные технические характеристики.

Эти небольшие на вид машины несут в себе огромный вычислительный потенциал, который нашел свое применение в системах автоматизированного проектирования, анимации, банковского дела, образования и многих других сферах. Так, например, Cray Research единственная компания, выпускающая вычислительную технику для научных высокопроизводительных вычислений. Современные дорогостоящие ЭВМ содержат по несколько десятков и даже сотен процессоров (например, MasPar MP-2 содержит 16000 процессоров) достигая при этом пиковой производительности в несколько сотен. Простые же ЭВМ содержат обычно один процессор (процессоры

условно подразделяют на поколения 286, 386, 486, 586"Pentium"), несколько мегабайт оперативной памяти (обычно она наращивается), жесткий диск (постоянное запоминающее устройство - "винчестер", емкость от нескольких Мб до нескольких Гбайт), адаптеры видео-, мульти- и др. (для поддержания работы различных устройств, как монитор, винчестер и т. д.). Все перечисленные устройства устанавливаются на материнскую плату, к ней от блока питания подается электрическая энергия и ЭВМ может работать. Это конечно не полный состав компьютера (на самом деле он намного сложнее), но уже достаточно, чтобы представить себе его сущность.

# Тема 1.4 Организационное обеспечение САПР

Стандарты по САПР требуют выделения в качестве самостоятельного компонента организационного обеспечения, которое включает в себя положения, инструкции, приказы, штатные расписания, квалифицированные требования и другие документы, регламентирующие организационную структуру подразделений проектной организации и взаимодействие подразделений с комплексом средств автоматизированного проектирования. Функционирование САПР возможно только при наличии и взаимодействии перечисленных ниже средств:

а) математического обеспечения;

б) программного обеспечения;

в) информационного обеспечения;

г) технического обеспечения;

д) лингвистического обеспечения;

е) методического обеспечения;

ж) комплектование подразделений САПР профессиональными кадрами. Теперь кратко разберёмся с назначением каждого компонента средств САПР.

**Математическое обеспечение САПР.** Основа - это алгоритмы, по которым разрабатывается программное обеспечение САПР. Среди разнообразных элементов математического обеспечения имеются инвариантные элементы-принципы построения функциональных моделей, методы численного решения алгебраических и дифференциальных уравнений, постановки экстремальных задач, поиски экстремума. Разработка математического обеспечения является самым сложным этапом создания САПР, от которого в наибольшей степени зависят производительность и эффективность функционирования САПР в целом.

**Программное обеспечение САПР.** Программное обеспечение САПР представляет собой совокупность всех программ и эксплуатационной

документации к ним, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования. Программное обеспечение делится на общесистемное и специальное (прикладное) ПО. Общесистемное ПО предназначено для организации функционирования технических средств, т. е. для планирования и управления вычислительным процессом, распределения имеющихся ресурсов, о представлено различными операционными системами. В специальном ПО реализуется математическое обеспечение для непосредственного выполнения проектных процедур.

**Информационное обеспечение САПР.** Основу составляют данные, которыми пользуются проектировщики в процессе проектирования непосредственно для выработки проектных решений. Эти данные могут быть представлены в виде тех или иных документов на различных носителях, содержащих сведения справочного характера о материалах, параметрах элементов, сведения о состоянии текущих разработок в виде промежуточных и окончательных проектных решений.

**Техническое обеспечение САПР.** Это создание и использование ЭВМ, графопостроителей, оргтехники и всевозможных технических устройств, облегчающих процесс автоматизированного проектирования.

**Лингвистическое обеспечение САПР.** Основу составляют специальные языковые средства (языки проектирования), предназначенные для описания процедур автоматизированного проектирования и проектных решений. Основная часть лингвистического обеспечения - языки общения человека с ЭВМ.

**Методическое обеспечение САПР.** Под методическим обеспечением САПР понимают входящие в её состав документы, регламентирующие порядок ее эксплуатации. Причем документы, относящиеся к процессу создания САПР, не входят в состав методического обеспечения. Так в основном документы методического обеспечения носят инструктивный характер и их разработка является процессом творческим.

**Комплектование подразделений САПР профессиональными кадрами.** Этот пункт предписывает комплектование подразделений САПР профессионально-грамотными специалистами, имеющими навыки и знания для работы с перечисленными выше компонентами САПР. От их работы будет зависеть эффективность и качество работы всего комплекса САПР (может даже всего производства). 4. САПР планово-шаблонных работ.

Ранее в машиностроительном производстве все сложные детали изготавливали планово-шаблонным методом. С внедрением вычислительных средств, как большие, малые и микро-ЭВМ, чертежные автоматы, станки с ЧПУ появилась возможность отказаться от этого трудоемкого с многими недостатками метода производства. На его смену пришел расчетно-плановый метод, это комбинированный способ увязки, более прогрессивный, чем планово-шаблонный метод, но ещё не достигший комплексной автоматизации. Расчетно-плановому методу (РПМ) присущи все черты будущего метода автоматизированного формообразования: широкое применение математического аппарата, комплексная нормализация и типизация конструкторского и технологического процессов, их естественное совмещение и развитие, широкое использование различных по мощности вычислительных средств и оборудования с ЧПУ во всех звеньях основного производства и его подготовки. С другой стороны, целые группы элементов конструкции и оснастки при этом методе проектируют, увязывают и изготавливают по традиционной, но модернизированной технологии планово-шаблонного метода.

Особенности проектирования и задания поверхностей при РПМ заключается прежде всего в широком применении для этих целей современных вычислительных и технических средств, что позволяет выдать в производство любое число точных и полноценных по объему информации расчетных таблиц. Важным звеном процесса формообразования деталей является увязка поверхностей, которая представляет собой их взаимное согласование по геометрическим параметрам. Увязка является одним из

основных факторов моделирования геометрических объектов, обеспечивающим получение правильной информации. Графоаналитическая увязка при РПМ является наиболее распространенным и рациональным способом согласования форм и размеров элементов конструкций. При расчётно-плановом методе важным источником согласования стыкуемых участков поверхностей являются информационные модели. Информационную модель обычно представляют в виде таблицы координат точек и других геометрических параметров. При РПМ широко используется возможность получения с ЭВМ и расчётных таблиц, и управляющей информации для вычерчивания геометрической модели на чертёжном инструменте. При расчетно-плановом методе сокращается общее число операций по переносу форм и размеров, тем самым уменьшаются потери точности, неизбежные при графических и визуальных способах передачи и оценки геометрической информации. Кроме того, автоматизируется процесс изготовления основных обводообразующих шаблонов на базе математических моделей, ЭВМ и станков с ЧПУ, что также сокращает количество вспомогательной оснастки. Точность изготовления шаблонов, качество их взаимной увязки всё больше зависят от объективных факторов, поддающихся учёту и регулированию.

РПМ создаёт широкие перспективы для автоматизации технологических процессов не только в области подготовки производства, но и в сфере основного производства заготовительного, сборочного и особенно механообработке. При РПМ технический и экономический эффекты достигаются благодаря:

а) сокращению сроков подготовки производства;

б) уменьшению технологического цикла изготовления опытных и серийных деталей;

в) повышению качества увязки и точности воспроизведения внешних форм всех элементов каркаса;

г) улучшению геометрической взаимозаменяемости деталей и узлов агрегата.

Сокращение сроков подготовки производства и уменьшение производственного цикла обуславливается не только применением высокопроизводительного оборудования, но и возможностью заранее, еще до запуска очередного изделия, провести большую работу по подготовке прикладного программного обеспечения.

Наряду с вышеперечисленным внедрение расчётно-планового метода позволяет получить и другие положительные результаты:

а)последовательную ликвидацию тяжёлых работ и сокращение общей доли физического труда в процессе подготовки основного производства;

б)стирание грани между физическим и умственным трудом, что находит выражение в появлении смешанных специальностей, например, инженера-настройщика, техника-оператора и др.

в)разностороннее интеллектуальное развитие рабочего, занятого обслуживанием новейшей программно-управляемой и электронно-вычислительной техники;

г)создание более высокой культуры производства, лучших условий труда на участках, оснащенных новым автоматическим оборудованием.

Одной из характерных особенностей РПМ является возможность широкой кооперации на всех стадиях проектирования и производства новых образцов техники, а также гибкость, возможность широко варьировать организацию технологического процесса в целях максимального использования производственных мощностей и в первую очередь - современного оборудования с ЧПУ.

РПМ является связующим звеном между двумя различными принципами формообразования и базой для последовательного перехода от традиционного, но устаревшего планово-шаблонного метода к методу автоматизированного формообразования.

**Технический объект и технология**

Техническим объектом называются созданные человеком или автоматом реально существующие устройства, предназначенные для удовлетворения определенной потребности. К ТО можно отнести машины, аппараты, приборы, ручные орудия труда, одежду, здания и т.д. Устройства, выполняющие определенную функцию (операцию) по преобразованию объектов живой и неживой природы, энергии или информационных сигналов. К ТО будем также относить любой из элементов, из которых состоят машины, аппараты и т.д., а также любой из комплексов взаимосвязанных машин, аппаратов, приборов. Это может быть технологическая линия, завод и т.п. Как синоним ТО в литературе часто используется понятие техническая система. Обработка вещества энергии или сигналов представляет собой выполнение с помощью ТО некоторой четко определенной последовательности операций. В связи с этим технологии будем называть способ, метод или программу преобразования вещества, энергии или информационных сигналов из заданного начального состояния в заданное конечное состояние с помощью определенных ТО. Разнообразие технологий также велико как и разнообразие ТО и благодаря ИТ оно постоянно продолжает возрастать.

# РАЗДЕЛ 2 ПРЕДМЕТ И ОБЛАСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАУКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

## Тема 2.1Теоретические основы инженерного творчества

В основе любой сформировавшейся дисциплины лежит относительно небольшой набор четко определенных понятий. Эти понятия как правило связаны между собой и с понятием фундаментальных наук. Попробуем сделать определение или определить основные понятия техники в рамках обобщенных методов ИТ. Система таких понятий позволит рассуждать на одном языке о разных объектах техники и достаточно четко сопоставлять их свойства.

При формировании основных понятий руководствуются следующими принципами:

1. Каждое понятие должно иметь отношение ко всем известным (или почти ко всем) ТО.
2. Понятия должны описывать основные свойства ТО с которыми приходится иметь дело при проектировании, конструировании и изучении ТО.
3. Понятия должны описывать по возможности измененные свойства ТО, имеющие конкретную характеристику.
4. Вводимые понятия должны в наибольшей мере использовать и учитывать в технических науках
5. Число основных понятий должно быть минимальным.

ТО и технология

Результатами ИТ чаще всего являются новые более современные и эффективные технические объекты и технологии. ТО будем называть созданные человеком или автоматом реально существующие устройства предназначенные для удовлетворения определенных потребностей.

Разнообразие технологий так же велико как и ТО. Каждый ТО может быть представлен описаниями имеющими иерархическую соподчиненность. Описание характеризуется двумя свойствами:

– Каждое последующее описание является более детальным и более полно характеризует ТО по сравнению с предыдущим.

– Каждое последующее описание включает в себя предыдущее.

Такие свойства следующие описания:

– Потребность или функция ТО;
– Техническая функция (ТФ);
– Функциональная структура(ФС);
– Физический принцип действия (ФПД);
– Техническое решение(ТР);
– Проект.

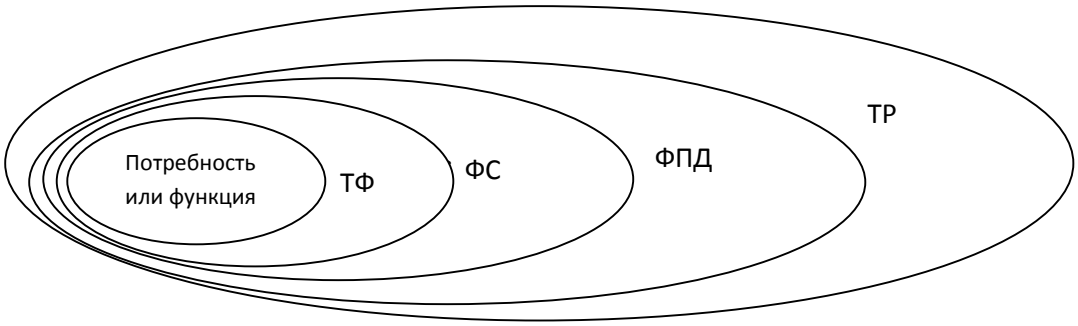



Рисунок 2.1 - . Иерархия описания ТО:

Потребность – это общепринятое и краткое описание на естественном языке назначения ТО или цели его создания (существования). При описании потребности отвечают на вопрос: «что?» (какой результат желательно иметь(получить) и каким особым условием и ограничением при этом нужно удовлетворить)

Описание потребности формализовано можно представить в виде трех компонентов:

$$P=(D,G,M) \quad (1),$$

где D – указание действия производимого рассматриваемыми ТО и приводящее к желательному результату, т

G – указания объекта или предмета обработки на которое направленно действие D

H- указание особых условий и ограничений при которых выполниться действие D.

Примеры по таблице 1 и 2.

Таблица 1 - Примеры описания потребностей

| Наименование ТО | D | G | H |
|---|---|---|---|
| Светильник | Освещает | Помещение | - |
| Электроплита | Нагревание(нагревать | Емкость | - |
| Мельница | Размалывание(размал | Зерна(зерно) | На муку |
| Грузовой автомобиль | Перевозка(перевозит) | Грузы | По дороге |
| Термометр | Измерения (измеряет) | Температура среды | |

Таблица 2 - Примеры описания физических операций

| Наименование ТО | $A_T$ | E | $C_T$ |
|---|---|---|---|
| Светильник | Электрический ток | Преобразование | Световой поток |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Электрическая плита | Электрический ток | Преобразование | Теплота |
| Мельница | Зерно + мех. энергия | Соединение | Мука |
| Грузовой автомобиль | топливо | Преобразование | Движение груза |
| Электрический термометр | Температура среды | Преобразование и сравнение | Электрический ток |

$Q=(A_{T,}E, C_T)$ или $Q=(A_т \rightarrow E \rightarrow C_T)$

где $A_{т,}$ $C_T$ – входной и выходной поток (фактор) вещества, энергии или сигналов. Е – наименование операции по превращению $A_т$ в $C_T$.

Эти операции отвечают на вопросы: «что?»( $A_т$) «как?» (Е) «во что?» ($C_T$). Число $A_т$, действие Е и выход $C_T$ в общем случае произвольно.

Функциональная структура (ФС). подавляющее большинство ТО состоит из нескольких элементов, агрегатов, узлов и могут быть естественным образом разделены на части. Каждый элемент как самостоятельный ТО выполняет определенную функцию (ФО), т.е. между элементами имеет место два вида и соответственно два вида их структурной организации:

1. Элементы имеют определенные функциональные связи друг с другом, которые образуют конструктивно-функциональную структуру. Конструктивная ФС представляет собой ориентированный граф вершинами которого являются наименования элементов, а ребрами – функции элементов. Кроме функциональных связей между элементами ТО имеются потоковые связи, т.е. элементы реализуя определенные физические операции образуют поток превращенных веществ, сигналов, энергии и д.р.

2. Взаимосвязанный набор ФО, реализующий один определенный поток преобразования вещества, энергии или сигналов, либо несколько взаимосвязанных потоков будем называть потоковой функциональной структурой. Потоковая ФС представляет собой граф вершинами которого являются наименования элементов ТО или наименование операций Е, а ребрами – входные $A_T$ и выходные $C_т$ потоки. Различают две разновидности потоковой ФС:

- Конкретизированная потоковая ФС, у которой в вершинах графа указано наименование элементов.
- абстрактная потоковая ФС, на вершинах у которого указаны наименования операций. Абстрактную потоковую ФС называют такой структурой физический операций

## Тема 2.2 Элементы процесса удовлетворения общественных потребностей

Человек характеризуется как *непрерывным ростом своих потребностей,* так и использованием *орудий производства.* Развитию потребностей человека сопутствовало и развитие этих орудий. **В процесс удовлетворения общественных потребностей входит выявление потребностей, проектирование, конструирование и эксплуатация технических средств.** Рост потребностей обусловливает производство все новых *технических средств.* Этот рост дает ответ на требования жизни, но он обусловлен и потребностью в *творчестве,* присущей человеку как разумному существу.

*Выявление потребности* и ее точное *определение* (идентификация)— основные *операционные элементы процесса удовлетворения общественных потребностей.* Можно предвидеть развитие такой научной дисциплины, предметом которой станут:

- исследование потребностей с точки зрения их видов;
- Установление иерархических уровней для удовлетворения потребностей в зависимости от их индивидуальной и общественной значимости;
- исследование потребностей с точки зрения количества средств, необходимых для их удовлетворения.

Область деятельности, задача которой заключается в исследовании *условий жизни* человека и общества в будущем, называется *футурологией.* Трудно возразить против точки зрения, что основой футурологического планирования должны быть тщательно выявленные и социально оправданные потребности, как существующие, так и потенциальные.

Проблема идентификации потребностей существенна в *методологии технического проектирования* как основа планирования и проектирования в масштабах народного хозяйства.

**Проектирование — первый операционный элемент.**

Формальное описание *потребности* составляет основу *проектирования,* как функционирования технического средства, так и его устройства; при этом способ удовлетворения потребности становится определяющим фактором. Основополагающее методологическое значение в процессе проектирования имеет понятие «система».

**Конструирование — второй операционный элемент.**

В результате проектирования, прежде всего создается основа для *конструирования.* Конструирование имеет свой специфический предмет — *свойства* того *изделия,* которое должно стать техническим средством. *Конструктор* в отличие от *проектировщика* должен разработать строго однозначную основу для дальнейшей деятельности изготовителей (к которым следует также причислить и строителей).

Результат деятельности проектировщика мы называем *проектом,* результат деятельности конструктора — *конструкцией.* Однако это еще не окончательные результаты. Проектировщик и конструктор должны всегда отдавать себе отчет, что окончательная оценка их работы определяется эффективностью действия технического средства в процессе удовлетворения общественных потребностей. За конструированием следует *изготовление,* операционной основой которого служит *конструкция. Изделие* должно иметь свойства, определяемые конструкцией. Ремесленная продукция характеризуется тем, что традиционный ремесленник одновременно является и проектировщиком и изготовителем, так что процесс проектирования запечатлевается в облике изделия. Ремесленник сочетает оба вида деятельности — проектирование и изготовление. Готовое изделие передается для *эксплуатации.* Это последний операционный элемент в процессе удовлетворения общественных потребностей.

## Тема 2.3 Определение науки технического творчества

В наше время ввиду быстро происходящих *изменений в техносфере* отчетливо проявляется потребность развития *общетехнических дисциплин,* которыми должны быть:

Наука технического творчества (т. е. проектирования и конструирования);

Наука изготовления;

Наука эксплуатации.

*Наука технического творчества* должна создавать рациональную основу *проектирования* и *конструирования.* Объект проектирования — система. Объект конструирования — конструкция.

Система представляет собой логическую основу как конструкции, так и действия технических средств. При определении, равно как и при создании системы, либо принимаются во внимание конструкции существующих технических средств, либо создаются новые конструкции, обусловленные изменениями в техносфере. Конструкция служит непосредственной и существенной основой изготовления, в итоге она определяет возможность реализации функции технических средств в рамках определенной функциональной системы.

## Тема 2.4 Элементы науки технического творчества имеют методологическое значение.

Исследование *технического творчества* и прежде всего — предмета этого творчества позволило выделить основные элементы *науки проектирования и конструирования.* Ими являются:

- теория технических систем;
- теория конструирования;
- методология проектирования;
- методология конструирования;
- теория записи конструкции;
- методология опытно-конструкторских работ и системных исследований;
- монографии о конструировании.

## Тема 2.5 Теория предмета технического творчества

Под *техникой* мы понимаем знания о способах оперирования материей; техническая деятельность опирается на эти знания.

Теория *технических систем* и теория *конструирования* способствуют *рациональному пониманию* существенных свойств технических средств и тех изделий, которые должны стать этими средствами; как уже было сказано, в нашем подходе:

система определяется совокупностью преобразований энергии, массы и информации и взаимосвязей между ними, *которые характеризуют* входы и выходы технических средств;

конструкция представляет собой комплекс структур и состояний изделия.

## Тема 2.6 Методология технического творчества

**Техническое творчество состоит из проектирования и конструирования.** Методология проектирования и методология конструирования могут пониматься и часто понимались лишь интуитивно или на основе здравого смысла.

Установление понятий технической системы и конструкции изделия позволяет точно определить *процесс проектирования* и *процесс конструирования,* а впоследствии объективно сформулировать основы *методологии проектирования* и *конструирования.*

Методология творческой технической деятельности прежде всего включает:

Описание творческой деятельности с выделением процедур, из которых складываются проектирование и конструирование;

**(Праксеология — наука о целесообразной организации любой человеческой деятельности, независимо от ее назначения)**

## Тема 2.7 Теория записи конструкции

Под *записью конструкции* до сих пор понимали *чертеж,* которому по стандартам давали различные определения, не всегда обоснованные, например «машиностроительный чертеж», «электросхема», «строительный чертеж».

Возможность формулирования *теории записи конструкции* возникла тогда, когда определилось понятие *конструкции и конструктивных характеристик.*

Понятия *конструктивного вида и комплекса размеров* позволили сформулировать общее понятие записи конструкции, не зависящее от способа записи. То, что привычно именуется чертежом, составляет лишь один из этих способов.

## Тема 2.8 Теория записи конструкции

Под *записью конструкции* до сих пор понимали *чертеж,* которому по стандартам давали различные определения, не всегда обоснованные, например «машиностроительный чертеж», «электросхема», «строительный чертеж».

Возможность формулирования *теории записи конструкции* возникла тогда, когда определилось понятие *конструкции и конструктивных характеристик.*

Понятия *конструктивного вида и комплекса размеров* позволили сформулировать общее понятие записи конструкции, не зависящее от способа записи. То, что привычно именуется чертежом, составляет лишь один из этих способов.

# РАЗДЕЛ 3 ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО

*Технические средства* — машины и помещения — представляют собой искусственные *материальные комплексы,* необходимые **в** жизни и для жизни. Их создание и использование входят в обязанности инженера-проектировщика, конструктора **и** производственника. Следует, однако, отметить, что эффективность действий инженера как в производственном, так и эксплуатационном процессах во многом зависит от используемых проектов и конструкций.

*Ответственность творцов техносферы* очень велика. Лишь инженер, принимающий капиталистические принципы, может рассматривать техническое средство как следствие роста производства и потребности сбыта.

## Тема 3.1 Условия создания и действия технического средства

Существенная *особенность* технических средств состоит в их *действии,* направленном на удовлетворение потребностей. На рисунке 2.2 *выход О* прямо или косвенно сориентирован на *потребности.*

*Вход 1* обеспечивается наличием *энергетических и сырьевых ресурсов.* Ограниченность этих запасов, обусловленная конечностью *гео-* и *атмосферы,* превращается в хозяйственно-техническую проблему; в ней следует различать не только актуальные, но и *потенциальные потребности.*

*Творческая и производственная деятельность* в сочетании с *практическими и теоретическими знаниями (техника и наука)* — вот те факторы, которые обеспечивают реализацию технического средства в соответствии с потребностями и актуальными и потенциальными возможностями, которые в свою очередь обусловлены запасами сырья и энергии.

От всего этого зависят *структуры и состояния,* которые можно придать будущему техническому средству в процессе проектирования. Кроме того, *свойства технических средств зависят от их особенностей.*

## Тема 3.2 Технический мегакомплекс

Рассматривая в общих чертах свойства и особенности мегакомплекса, обратим внимание на его различные возможные *состояния.* Разнообразные технические средства, которые могут быть *составляющими элементами* мегакомплекса, образуют определенного рода *неупорядоченное множество.* Это означает, что указанные технические средства существуют или могут появиться в дальнейшем, но в различных и не всегда сразу устанавливаемых местах, к тому же в весьма неопределенный период времени.

*Упорядоченное множество* возникает благодаря *творческим техническим действиям,* вследствие которых из неупорядоченного множества выбираются *относительно упорядоченные совокупности.* Они представляют собой подмножества неупорядоченного множества. Соответственно *потребности* упорядочение основывается на установлении в каждом случае места и времени. Относительно упорядоченное подмножество охватывает технические средства в процессе образования мегакомплекса (множество всевозможных средств для данного объекта).

Можно выделить следующие модификации мегакомплексов:

- *централизованный мегакомплекс;*
- *автоматизированный мегакомплекс;*
- *мегакомплекс случайного действия.*

*Централизованный* мегакомплекс представляет собой в какой-то мере автоматизированный мегакомплекс. Это связано прежде всего с воздействием социального фактора, т. е. участием в его действии организованного человека. Напротив, чисто механический комплекс, лишенный какой-либо автоматизации, опирается в своем существовании только на классические основы детерминистической механики.

*Автоматизированные* мегакомплексы характеризуются большей *технико-экономической надежностью.* При их создании стремятся избавиться от промежуточного операционного обслуживания человеком

путем введения автоматических *обратных связей,* которые представляют собой существенный элемент автоматизации.

Мегакомплекс *случайного действия* возникает в результате неправильного выбора технических средств, возникновения помех технического или организационного характера.

Возможность случайного действия существует всегда. Поэтому мегакомплекс должен быть оснащен средствами, которые позволяют:

- сигнализировать о неполадках;
- устранять неполадки;
- противодействовать последствиям внешних помех.

Задача распознания и установления свойств технического средства отнюдь не сводится к определению лишь тех из них, которыми должно обладать техническое средство для удовлетворения потребностей, ради которых оно было создано. Нужно еще учитывать, какие свойства данного технического средства могут проявиться в различных вероятных обстоятельствах. Поэтому возникает вопрос: «Не должно ли техническое средство обладать такими свойствами, которые могли бы вызвать противодействие по отношению к нежелательным (с точки зрения функционирования технического средства) действиям?» Среди нежелательных действий могут оказаться и такие, которые вызывают выход средства из строя или нарушение его целенаправленного действия.

## Тема 3.3 Антропотехнические и социотехнические комплексы

Технические, средства создаются для того, чтобы служить человеку. Комплексный подход к этой проблеме, тесно связанной с потребностями, обеспечивает их достаточно полное выявление. Истинно гуманный подход к потребностям любого члена человеческого общества не допускает ситуации, когда сам человек был бы подчинен техническим средствам (как это несколько эмоционально формулируют некоторые исследователи, «человек является придатком машины»). Примерами *социотехнических комплексов* могут служить кооперативы, шахты, цеха, заводы, а также места, исключительно предназначенные для выполнения коллективной умственной работы.

Встречаются случаи, когда стремятся к тому, чтобы мегакомплекс носил чисто технический характер. Касаясь наиболее близкой автору темы, можно привести пример полностью автоматизированной глубокой шахты; это постепенно становится конечной целью современных проектировщиков в горнодобывающей промышленности. Аналогично выглядит картина и в случае различных металлургических мегакомплексов.

# РАЗДЕЛ 4 СИСТЕМА, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЦЕСС УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ

*Техническая система представляет собой абстрактное отражение комплекса взаимосвязанных технических средств, обеспечивающих преобразование массы, энергии и информации.* Здесь в основном рассматриваются технические системы, т. е. системы, которые соответствуют мегакомплексам, состоящим из совокупности машин и помещений. Выделив *массу, энергию* и *информацию* как объекты преобразований, мы дали определение понятия *техническая система.*

Не углубляясь далее в разбор более широкого понятия *система,* обратим лишь внимание на выделенное выше определение. При таком подходе указанное определение отражает свойства любых комплексов, в которых реализуются сложные преобразующие действия, например действия логические и математические. Неизмеримо более интересная проблема связана с *системой деятельности мозга.* По сути это *информационная система.*

В определении системы ничего не сказано о том, что является объектом преобразований и связей. Этим объектом в общем случае может быть все, что угодно.

Если рассматриваются связи, то логично предположить существование множества элементов, между которыми существуют связи. В отличие от других существующих определений понятия системы мы принимаем в качестве ее существеннейшей черты не только *связи,* но и в равной степени *преобразования,* происходящие в системе.

## Тема 4.1 Разновидности отношений в технических системах

Отношения между входами и выходами (информационными, энергетическими и массовыми) являются существенными *элементами системы,* ибо система представляет собой комплекс этих отношений. Пользуясь приведенным примером антропотехнического комплекса, мы можем выделить частные *разновидности отношений.* Проведем это выделение в два этапа.

Прежде всего они делятся на:

отношения преобразования;

отношения связи.

В свою очередь отношения *преобразования* можно разделить на:

отношения переработки;

отношения перемещения.

Так, например, в процессе обработки металла резанием изменяются форма и размеры заготовки, т. е. изменяется *внешняя структура.* В химическом или металлургическом процессах преобразование преследует цель изменения *внутренней структуры.* Таким образом, переработка состоит в изменении внутренней или внешней структуры материальных комплексов. Такого рода переработка в соответствии с общим определением направлена на изменение *свойств* предметов.

*Перемещение* какого-то материального предмета с места на место представляет собой изменение положения предмета по отношению к другим предметам. Системный подход к проблеме перемещения приводит нас к утверждению, что изменение какой-то *особенности* элемента в комплексе приводит к изменению *свойств* этого комплекса в целом (например, текущего состояния внутренней структуры комплекса, рассматриваемого как целое).

Рассмотрим *связи* несколько иначе. По сути дела, существует лишь одна разновидность связей. Можно сказать, что эта разновидность является основой непосредственных связей между материальными комплексами. Однако если бы мы захотели взглянуть на связи применительно только, например, к машинам (без учета помещений), то смогли бы выделить как косвенные, так и непосредственные связи. Бывает так, что одна машина непосредственно связана с другой; бывает и так, что для соединения двух машин потребуется промежуточный элемент, например, паропровод между генератором пара и турбиной. При частном подходе паропровод по своей сути не является отдельным элементом мегакомплекса. Однако с системной точки зрения паропровод, обеспечивающий материальное соединение двух удаленных друг от друга машин, оказывается столь же самостоятельным и значимым техническим средством, как и сама машина.

В технических мегакомплексах мы принимаем во внимание следующие непосредственные связи:

между машинами;

между машинами и помещениями;

между помещениями.

Именно эти связи отражают все взаимоотношения, существующие в мегакомплексах. Рассматриваемые под таким углом зрения связи не обладают собственной материальной основой; ее роль играют непосредственно связанные между собой материальные комплексы.

## Тема 4.2 Понятие черного ящика

При рассмотрении системы в предыдущем разделе мы оценивали *функционирующие элементы машинного комплекса* весьма условно, поскольку нас интересовали только внешние результаты. При этом мы не вникали в механический и термический способы действий. Для такого рода анализа в кибернетике введено понятие *черного ящика.*

В качестве примера взят сравнительно несложный паровой котел. Пользуясь понятием черного ящика, рассмотрим отношения между выходами и входами. Рассматривая функционирование парового котла, принимаем во внимание:

вход: вода, уголь и воздух;

выход: пар, дымовые газы и шлак.

Как и в случае с зубчатой передачей, не будем учитывать рассеиваемую энергию, которая фактически представляет собой еще один энергетический выход.

## Тема 4.3 Потребность — действие — система — функционирующий комплекс

В настоящей книге слова «система» и «комплекс» отнюдь не синонимы. Система представляет собой комплекс отношений преобразований и отношений связей, образующих свойство технического средства. Таким образом, система представляет собой частный случай абстрактного комплекса. Техническое средство же является частным случаем функционирующего комплекса, т. е. комплексом материальным. Наше мышление в данном случае представляет собой действие с замыслами. С определения этой потребности начинается проектирование *рг* — процесс осмысливания *действия,* которое необходимо и достаточно для удовлетворения потребности. Для того чтобы обеспечить это действие, необходим *действующий комплекс,* обладающий требуемыми свойствами. Первым в *логической последовательности* свойством будет *система,* понимаемая как неслучайная (т. е. закономерная) *возможность действия.* Ниже мы покажем, что действующий комплекс обретает возможность функционирования благодаря *структурам,* которые представляют собой свойства изделий. Структуры изделия в конечном счете обусловлены *конструкцией,* т. е. *результатом конструирования* (аналогично тому, как *система* представляет собой *результат проектирования).*

Использование понятия системы как свойства функционирующего комплекса в процессе проектирования избавляет проектировщика на самой первой стадии осмысливания от привязки к какому-то материальному комплексу. Благодаря этому достигается *идеализация действия* — существенное понятие методологии технического проектирования.

Производственный комплекс одновременно представляет собой и комплекс, эксплуатирующий различные технические средства. Прежде всего к ним относятся станки и различные другие обрабатывающие машины.

Зачастую эксплуатация основывается на использовании технических средств, изготовляемых в мастерской, которая сама оснащена такими же средствами. Если мы не сможем отличать *абстракции,* т. е. системы, от *конкретности,* т. е. действующего комплекса, то нам будет трудно отличить и производственный комплекс от эксплуатационного. В данном случае мы были бы лишены способа однозначного деления такого материального комплекса на два различных комплекса. Трудность такого рода исчезает в том случае, если в одном материальном комплексе объединить различные *свойства.* В таких случаях можно говорить о *синергии,* т. е. о согласованности действий различных систем.

В конце данной главы обратим внимание на еще одно значение понятия *системы* как свойства действующего комплекса.

В начальных главах книги особое внимание было обращено на *систему* технических средств как объект чисто инженерной деятельности. Это позволяет определить второй объект инженерной деятельности — *конструкцию.*

Объяснение понятия системы проводилось с помощью понятия действия и логической связи между системой и действием. Вполне очевидно, что *потребность действия технического средства определяет потребность технического творчества.* Отсюда следует, что оказывается необходимым создание *информационной системы* как основы совместных действий проектировщиков и конструкторов.

Начиная исследование с понятия *системы,* мы тем самым полностью охватываем проблему технических действий, цель которых сводится к удовлетворению материальных потребностей, и подходим к задачам проектирования и конструирования.

# РАЗДЕЛ 5 ИЗДЕЛИЕ

Процесс *изготовления* основывается на *преобразовании материальных комплексов. Изделие* представляет собой результат *целенаправленного* преобразования материальных комплексов.

Изделиями мы называем различные материалы и предметы, отвечающие потребностям человека. Существует лишь определенный класс изготовленных материальных объектов, которые представляют собой законченные изделия и могут быть использованы в виде технических средств. Однако существует и такой класс объектов, которые с точки зрения одних потребностей представляют собой законченные изделия, а с точки зрения других потребностей — полуфабрикаты.

В данной работе мы ограничимся решениями задач, связанных с изделиями, изготовляемыми в соответствии с ранее разработанной *конструкцией.* В этом разделе мы займемся такими изделиями, которые должны превратиться в *технические средства,* предназначенные для использования в *процессе удовлетворения потребностей.* К ним могут относиться орудия (среди них машины) или помещения (среди них строения).

Тезис в начале раздела подчеркивает обоснованность использования в этой работе термина «изделие». Действительно, лишь в сравнительно небольшом перечне публикаций (преимущественно научных) столь последовательно используются термины, имеющие свою языковую основу в этимологии слова «делать».

## Тема 5.1 Проект и изделие

Рассмотрим свойства изделия, изготовленного на основе ранее разработанного *проекта.* Изделие представляет собой некоторую конкретность, отвечающую проекту. Таким проектом служит *конструкция.* Это объяснение все еще оказывается необходимым, ибо термину «конструкция» приписываются различные значения. Очень часто этот термин используется применительно к изделию, т. е. к конкретности. В нашем понимании конструкция представляет собой абстрактное отражение конкретности, а не конкретность (т. е. материальный комплекс). Это устраняет различного рода логические недоразумения. *Существенное свойство изделий состоит в их подчиненности мысли* — мысли творцов и работников, занимающихся сохранением *состояния изделий.* Техносфера изобилует искусственными материальными предметами, которые подвергаются распаду. Мы можем говорить о повсеместном росте *энтропии* как о законе поведения материи. «Бесхозная», мертвая материя рассеивается. Задача *инженера* и человека вообще сводится к противодействию энтропии, что требует *творческой работы мысль.* Пьер де Лятиль назвал этот процесс *анэнтропией.* Другие исследователи используют термин «негэнтропия».

## Тема 5.2 Массовое производство изделий

В процессе удовлетворения потребностей огромное значение имеет выпуск в большом количестве (тиражирование) изделий с одинаковыми свойствами; массовое производство многих различных технических средств — машин и немашинных орудий — представляет собой знаменательный факт нашего времени. Необходимость тиражирования изделий с одинаковыми свойствами обосновывается:

Выявленной потребностью в таких же или аналогичных изделиях;

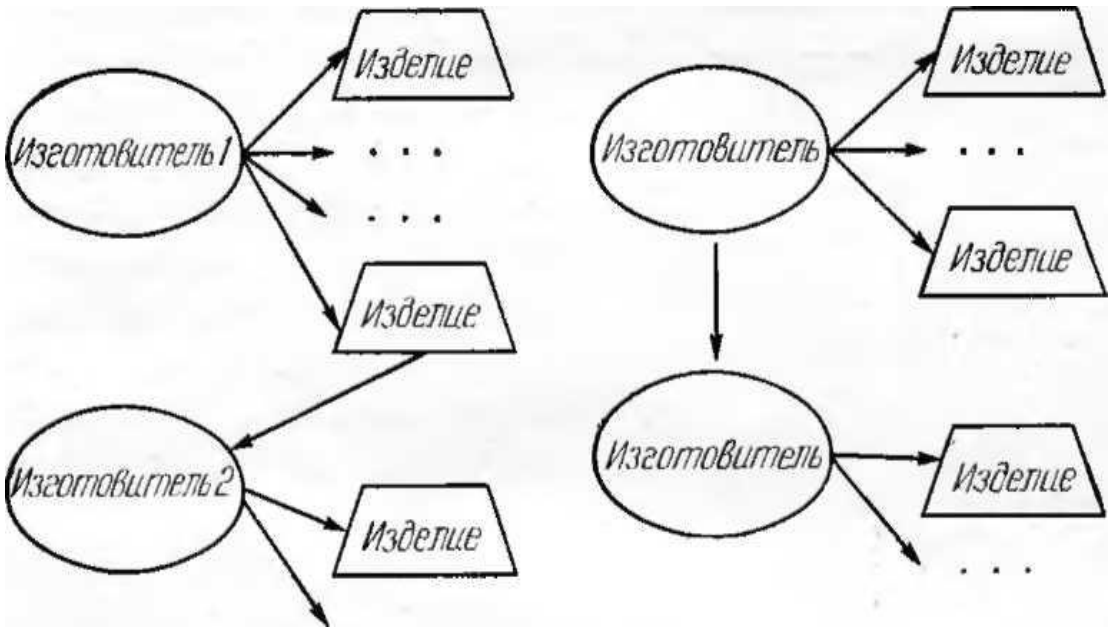
Возможностью обеспечить изменение свойств материальных комплексов в жестко ограниченных пределах.

Попытаемся описать действия, направленные на массовое производство изделий.

На ранней стадии развития производства процесс передачи информации был развит весьма слабо. Это было вызвано отсутствием соответствующих технических средств передачи *коммуникатов.* Производство одинаковых изделий основывалось на непосредственном воспроизведении отдельных образцов. Проиллюстрируем вышесказанное с помощью рисунок 2. Ремесленник, который одновременно был и творцом замысла свойств изделия, каждый раз мог пользоваться своим *замыслом.* Если же за процесс изготовления одного и того же изделия принимались другие изготовители, то для их деятельности был необходим образец изделия.

В случае непосредственного воспроизведения изделия изготовитель старался придать предмету свойства, аналогичные образцу. Разумеется, эти свойства не были идентичными, ибо вследствие индивидуальных свойств материальных объектов никогда нельзя повторить свойства самого образца. Скорость тиражирования изделий, увеличивающаяся благодаря вовлечению в процесс изготовления все большего числа изготовителей, зависела от скоро-

сти передачи изделия из одних рук в другие. При этом образец играл роль носителя информации о присущих ему свойствах. Такой способ передачи информации во многих случаях был более практичным (если не единственно возможным) по отношению к определенным изделиям по сравнению с передачей каменных или глиняных таблиц с нанесенными на них записями Рисунок 5 б.




8

Рисунок 5.1- Модель тиражирования изделий в условиях первобытного общества. *а* — на основе изделия; *б* — на основе устной передачи информации.

## Тема 5.3 Техническая информация в процессе изготовления

Свойства изделия в процессе изготовления технических средств ни в коем случае нельзя изменять без соответствующей *информации,* исходящей от *проектировщика и конструктора.* Если рассматривать ремесло как один из видов технического творчества, то следует все же отметить уменьшение значения ремесленных процедур в последнее время. И даже когда участие ремесленника-специалиста в какой-либо области оказывается возможным, его предложения, направленные на изменение конструкции, нуждаются в исходящей от инженера информации, содержащей хотя бы согласие на *проведение* предложенных *изменений.* Это правило касается не только ремесленника, но и в равной степени инженера, ответственного за производственный процесс. Поэтому, учитывая однозначность ответственности за конструкцию и проект, необходимо в качестве *ответственного лица за свойства изделия* признать конструктора и проектировщика.

## Тема 5.4 Развитие специализации производства и конструирования

С целью упрощения описания процесса специализации производства и конструирования вместо термина «техническая информация» в данном разделе мы будем пользоваться понятием «конструкция», которое включает существенную часть технической информации и для производственного процесса, рассматриваемого как совокупность целенаправленных специализированных действий. Развитие социально-хозяйственной жизни привело к появлению между потребителем *е* и техническим средством эксплуатационной организации. Так, например, мы пользуемся железнодорожным, автомобильным и авиационным транспортом.

Главным образом благодаря возможностям *записи конструкции* возникла специальность конструктора, которая привела к разделению процессов конструирования и изготовления. На заводах появились должности конструкторов. Чисто производственная организация w превратилась в конструкторско-производственную организацию wk.

Частная инициатива предпринимателей стала одной из причин возникновения*)* в XIX столетии подразделений **к.** Появились конструкторские (по существу *проектно-конструкторские)* бюро.

Наш век характеризуется бурным развитием научных исследований. Это благоприятствовало росту интереса научных работников к конструкциям и действию технических средств, хотя далеко не в той мере, в какой это возможно и необходимо. Наряду с конструкторами появились в последнее время исследователи. Начали функционировать проектно-конструкторско-исследовательские kb организации.

# РАЗДЕЛ 6 КОНСТРУКЦИЯ

В результате непосредственных процедур материальные комплексы в ходе производственного процесса обретают определенную комбинацию заранее продуманных *свойств,* которую мы называем *конструкцией.* Конструкция всегда предшествует *изделию.* Таким образом, мы провели весьма существенное разделение. *Конструкция,* как и *проект,* представляет собой абстракцию, существующую независимо от конкретности, которой является *изделие.* Здесь мы напомним о *принципах тождественности и совместимости.* Отделение *замысла* от *изделия* как раз и отвечает требованиям этих двух правил логики. В *теории конструкции* необходимо избегать многозначности, которая может быть допустима и даже полезна в других областях. Факт существования конструкции независимо от изделия (и существования вполне *объективного)* отражается *записью конструкции* с помощью графических, языковых и математических *знаков,* которыми мы пользуемся при создании *операционных коммуникаторов* для изготовителей, или же вспомогательных записей, необходимых в процессе конструирования.

Благодаря *записи* конструкция существует объективно и доступна в любое время. При этом, несмотря на наличие конструкции, изделие может быть никогда не изготовленным. Такая возможность представляет угрозу для конструкции, т. е., по существу, для самого *конструктора.* Как мы отметим в гл. 15, выпуск изделия является необходимым условием подтверждения целесообразности свойств конструкции, которые конструктор хотел придать изделию. Это необходимое, но недостаточное условие. Вторым необходимым условием (особенно по отношению к *техническим средствам)* является *функционирование* самого изделия, рассматриваемого как техническое средство.

*Конструкция представляет собой комплекс структур и состояний изделия.* Из этого определения следует, что свойствами изделий, заданными

конструктором, являются *структуры и состояния изделия.* Приведенное определение конструкции требует пояснения следующих понятий:

- разновидности *комплекса;*
- *структуры* изделия;
- *состояния* изделия.

## Тема 6.1 Структуры изделия

*Структуру изделия* мы понимаем как *свойство конкретности.* Таким образом, в процессах конструирования и производства, структура (как абстракция) содержит *информацию об изделии.* Структура определяет под определенным углом зрения порядок множества материальных частиц. Раскрывая понятие структуры изделия, обратим внимание на то, что с точки зрения свойств, изделия, представляющего собой техническое средство (т. е. с позиций его функционирования, согласно определенной *системе),* необходимо знать не все свойства (ибо все невозможно даже перечислить), а лишь некоторые:

- свойства, которые с достаточно высокой надежностью обеспечивают функционирование изделия, рассматриваемого как техническое средство;
- свойства, необходимые и достаточные, которые вполне, осознанно и целесообразно могут быть приданы изделию в ходе производственного процесса.

Свойствами, *определяющими конструкцию,* являются:

- внешняя структура;
- внутренняя структура.

Мы будем выяснять понятие структуры именно в этой последовательности, ибо функционирование многих технических средств существенным образом и прежде всего зависит от *внешней структуры.* Конструктор, разрабатывая конструкцию, создает в своем воображении *внешний вид,* который мы называем *геометрическим конструктивным видом.* Вид является одной из характеристик структуры.

Линейный знак, обозначающий структуру, не имеет символического значения. Благодаря инструментам он может быть даже *изоморфным отображением* поверхности кубика. Это отображение представляет собой *модель структур,* т. е. распознанную черту материального комплекса.

*Внешняя структура* представляет собой свойство материального комплекса, которое может быть *установлено с помощью инструментов.* Признание данного геометрического вида за параллелепипед мы обосновываем тем, что внешняя структура рассматриваемого тела может быть описана как *совокупность точек,* не переходящая границ, определенных двумя геометрическими параллелепипедами. *Внутренняя структура* есть то, что позволяет описать свойство некоторого *вещества,* т. е. материальных частиц, находящихся в области, ограниченной внешней структурой. Описание свойств материала, из которого изготовлено данное изделие, представляет собой информацию о внутренней структуре. *Физика, химия, кристаллография, материаловедение* — все эти науки используются в качестве научной основы для описания внутренней структуры. В зависимости от *методов описания* можно получить информацию о выявленной структуре с различной степенью точности.

Описание *комплекса внешней и внутренней структур* дает существенную *информацию операционного характера,* столь необходимую для изготовителей. Игнорирование этой информации в производственном цикле приводит к *производственному браку.*

## Тема 6.2 Понятие конструктивной характеристики

Создание *теории конструкции* способствовало выявлению понятия *конструктивных характеристик.* При создании конструкции *конструктор* непосредственно оперирует этими характеристиками.

*Определение конструктивной характеристики* основано на выборе *конструктивного вида* и *комплекса размеров*

## Тема 6.3 Конструктивные характеристики вещества

*Конструктивные характеристики вещества* (т. е., в традиционном понимании, характеристики материала конструкции) регламентируют распределение внутренней структуры. В данном случае термин «распределение» имеет весьма широкий смысл, учитывая распределенные свойства вещества, из которого предполагается изготовить изделие данной *конструкции,* функционирующее как *техническое средство.* Распределение внутренней структуры представляет собой более сложную задачу по сравнению с внешней, которая определяется геометрическими конструктивными характеристиками. В случае геометрических характеристик достаточным оказывается определение геометрических величин (длин и углов). В случае внутренней структуры набор мер должен быть более представительным.

Учитывая формальные языковые трудности, для определения *характеристики внутренней структуры* изделия введен термин «конструктивная характеристика вещества», поскольку в нашем понимании науки технического творчества термины «материал» и «вещество» разделяются однозначно.

Примерами *вещества* могут служить: стекло, сталь, кремнезем и лен — материальные комплексы, определяемые исключительно с точки зрения *внутренней структуры.*

Примерами *материалов* являются соответственно: оконное стекло, стальные прутья, песок и льняное полотно — материальные комплексы, определенные с учетом *как внутренней, так и внешней структуры.*

В зависимости от точки зрения внутренняя структура может быть определена как:

химическая;

кристаллографическая;

металлографическая;

структура комплекса сложных химических частиц (особен-но в случае искусственных материалов);

структура комплекса волокон в древесине или в тканях и т. п.

*Металлы* продолжают играть первостепенную роль при создании технических средств. *Металлургический процесс* представляет собой типичный *стохастический процесс;* здесь играют существенную роль многочисленные факторы, которые отсутствуют, например, в процессе резания.

Результат металлургического процесса обычно оценивается в довольно широких пределах, что не может и не должно удовлетворять конструкторов, к которым предъявляется требование все более *рационального технического творчества. Случайный* характер изменения химической структуры, а также различные *случайные* воздействия в металлургическом процессе обусловливают *случайные* изменения металлографической структуры.

К наиболее важным свойствам *конструкционных материалов* относятся их *стерео механические свойства,* имеющие первостепенное значение, когда речь идет о прочности комплексов, образующих технические средства. Среди стереомеханических свойств решающая роль принадлежит внутренней структуре. Проблема внутренней структуры очень сложна. Достаточно привести пример *коррозии* и других химических структурных изменений. Можно предположить, что многие свойства и особенности различных новых веществ нам остаются до сих пор неизвестными, хотя эти свойства могут оказаться вредными для человека.

Внутренняя структура (т. е. вид используемого вещества) наряду со способом обработки определяет внешнюю структуру.

## Тема 6.4 Запись Конструкции

Чем более сложен проект, тем незамедлительней необходимо его записывать, поскольку иначе проектировщик и конструктор могут утратить часть существенных элементов своих замыслов.

Архив записей конструкции, так же как и библиотека, выполняет роль памяти и служит средством, тем более действенным, чем проще из этих запасников извлекается запись нужной информации. Этот вопрос приобретает все большее значение и тесно увязывается со способом *материального воплощения записи.*

технические средства как *орудия* служат для овладения материей, для управления материальными объектами путем целенаправленного их преобразования;

*знаки* позволяют управлять информацией.

Воспользуемся случаем акцентировать внимание на значении *записи как системы знаков, закрепленной графическими и иными способами.* Благодаря знакам и орудиям люди в отличие от представителей животного мира не приспосабливаются к условиям, *существующим* на земле, а, напротив, сознательно приспосабливают окружение к своим *потребностям.* Даже в межпланетных полетах люди не изменяют своей природы, а творчески ведут дело к созданию *артефактов,* обеспечивающих условия, *аналогичные* тем, которые характерны для нашей планеты как места обитания людей

## Тема 6.5 Технические чертежи

Все то, что утвердилось традицией использования технического чертежа, будет, наверное, иметь значение до тех пор, пока интеллект конструктора не подвергнется радикальным изменениям под влиянием использования ЭВМ. Типичным традиционным элементом чертежной записи является *упрощенная иконическая запись. Язык технического чертежа* составной. В нем можно выделить:

- иконические знаки;
- чертежные символы;
- элементы обычного языка;
- язык (коды) записи комплекса размеров.

Эти элементы устанавливаются государственными и международными стандартами.

## Тема 6.6 Принципы и правила записи конструкции

В данном разделе мы выясним вопросы, относящиеся к *записи конструкции.* Однако соответствующие правила и принципы имеют значение и для любой другой *технической документации.* В отношении записи конструкции выдвигаются в первую очередь требования эффективной оперативности записи; эта запись не должна допускать произвольной интерпретации.

*Методы записи* должны использовать:

*принцип однозначности* (сообщение не должно требовать интерпретации, т. е. выяснения и перевода);

*принцип непротиворечивости элементов записи* (как условие согласованности);

*принцип полноты,* имеющий особое значение для потребителя записи; исходя из этого принципа, потребитель имеет право считать, что данные записи необходимы и достаточны

Запись должна выполнять ряд формальных требований, представляющих собой *правила записи:*

*вид знаков* должен соответствовать целям информации: проектной, конструкторской или инструктивной;

*число знаков* должно быть необходимым и достаточным для потребностей эффективной деятельности как потребителей, так и машинных блоков приема информации;

записи должны быть адекватны соответствующим *материальным комплексам* и должны иметь достаточно устойчивую форму в пределах использования записи как средства информации. Названные *принципы* и *правила* вытекают из соображений *информативной целесообразности* как основы существования записи. Однако необходимо одновременно принимать

во внимание *экономическую целесообразность* и *производственные возможности.*

Затраты на изготовление *технической документации* в значительной степени связаны как с методикой обработки проектной или конструкторской информации, так и с *техникой составления документации.* У нас слишком мало внимания обращается на различные элементы документации, в отношении которых должен использоваться *критерий устранения избыточности.* Затраты, которые не обоснованы *критериями эффективности (проектной, производственной* или *эксплуатационной),* с социальной точки зрения недопустимы.

## Тема 6.7 Запись комплекса размеров

К *общим размерам* машины, что имеет важное значение для конструктора. Существует тесная связь между комплексом размеров и конструктивным видом. С этой точки зрения оговорим *правила записи конструкции,* учитывая, что *однозначность, непротиворечивость* и *полнота записи* зависят главным образом от оптимального выбора *комплекса размеров.*

В теории *графической записи* можно выделить правила следующих типов:

предписывающие:

общие (соответствующего места и читаемости);

частные;

ограничивающие.

*Общие правила* относятся в равной степени к комплексу размеров и к записи конструктивного вида.

*Правило соответствующего места* указывает на такую связь между конструктивным видом и комплексом размеров, которая позволяет избежать разделения групп размеров, составляющих логическое целое. Размещение размеров в случайных местах чертежа противоречит логике создания комплекса размеров, а с практической точки зрения ухудшает читаемость чертежа. К неверным указаниям и несоблюдению правила соответствующего места обычно приходят, руководствуясь соображениями о том, где всего проще поставить размер и как выполнить чертеж, чтобы не было «пустых мест».

*Правило читаемости* имеет обобщенное значение, так как обращает внимание на значение *коммуникативности,* и логически вытекает из правила однозначности. Примером отступления от правила читаемости может служить использование букв и цифр слишком малых размеров в

качестве условных обозначений или отсутствие четкости линий, служащих графическим средством записи комплекса размеров.

К *частным предписывающим правилам* относятся:

- правило непосредственного размера;
- правило минимума размеров с малыми допусками;
- правило общей размерной базы.

**Машинная запись**. Все более широкое применение *ЭВМ* позволяет пользоваться ими в операциях, связанных с *записью конструкции.* Это обусловливает широкое употребление *символической записи,* основанной на принципах *языка записи,* существенно отличного от «графического»".

Система символов и *информационная система* рассматриваются в этих случаях как комплекс отношений преобразований наборов символов в *операционные сообщения.*

# РАЗДЕЛ 7 СИСТЕМА, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЦЕСС УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ

## Тема 7.1 Проектирование, конструирование и капиталовложения

*Процесс капиталовложений (инвестиций) тесно связан* ***с*** *потребностями и определяется ими.* Эти потребности могут быть *актуальными* или *потенциальными.* К актуальным потребностям относятся те, которые начинают удовлетворяться с момента их выявления. К потенциальным же потребностям относятся такие, которые начинают вырисовываться в свете перспектив развития. Уже в самом названии данной главы определен предмет деятельности проектировщиков и конструкторов. Творческие действия, связанные с реализацией определенных замыслов, представляют собой составную часть комплексного *социального явления* — деятельности *исследовательско-проектно-конструкторско-внедренческих организаций.*

Введение такого длинного термина продиктовано необходимостью обратить внимание на *диалектический смысл* технического творчества.

Чаще всего инвестиционный процесс направлен на создание новых или на развитие уже существующих мегакомплексов. Он требует больших *материальных и временных затрат;* при этом *деятельность инженеров* имеет решающее значение. Влияние системы на конструкцию реализуется посредством директив, содержащихся в *техническом проекте.* Значение непосредственных операционных и логических связей между *проектированием* и *конструированием,* к сожалению, у нас недооценивается; это свидетельствует о недостаточно эффективной *организационной структуре* творческих технических организаций.

Разработанная *техническая система* обусловливает принятие соответствующих *конструктивных решений.* На их основе осуществляется

*производство технических средств,* что в свою очередь обеспечивает создание технического мегакомплекса в соответствии с инвестициями.

## Тема 7.2 Проектирование в самом широком смысле

Можно считать, что самые общие задачи проектирования сводятся к ответу на два вопроса:

- каковы цели проектирования?
- на чем основывается проектирование?

При формулировке ответов воспользуемся конкретным примером— пусть им будем машиностроительный завод. Этот завод должен включать цехи механической и термической обработки, а также сборочные цехи. Необходимы также металлообрабатывающие станки, различные инструменты, нагревательные печи, транспортные средства, различного рода вспомогательное оборудования типа подъездных путей, дорог, зданий, устройств энергопитания и социально-бытового назначения и т. п. Если в соответствии с традиционными решениями завод имеет возможность производить заготовки, то необходимы литейный цех и сварочные участки.

Эффективность перечисленных *технических средств* будет тем выше, чем лучше они соответствуют намеченным *производственным целям.* Применительно к другим объектам могут появляться и другие цели (например, *цели обслуживания).* Однако эффективность предопределяется не только видами и числом технических средств, но и отношениями между этими средствами, которые определяются как отношения связей в *технической системе,* представляющей собой основу производственной деятельности.

На машиностроительных заводах внешним проявлением отношений между техническими средствами (например, между машинами) могут быть обрабатывающие линии (конвейеры). Следует обратить внимание на сложность взаимосвязей между техническими средствами. Здесь приходится иметь дело с *операционными планами,* выбором *транспортных средств* и *средств управления производственными процессами.* Проект должен отражать всевозможные существенные для функционирования завода

свойства и особенности технических средств, включая при этом и указания, относящиеся к условиям, необходимым для достижения *технической и экономической эффективности,* заложенной в проекте. Поэтому проект должен включать *технические описания* и *экономический анализ.*

Воспользовавшись языком практики проектирования, мы можем сказать, что *объект проектирования* охватывает:

технические средства;

отношения между средствами;

цели производства или обслуживания.

Критериями их оценки служат технические и экономические результаты

"функционирование завода зависит от *эффективности затрат* на строительство самого завода и обеспечение соответствующих *внешних условий.* Отметим важнейшие элементы, которые характеризуют внешние условия. К ним относятся:

- социальные условия;
- транспортные и коммуникационные связи;
- снабжение водой, воздухом, электроэнергией и т. п.;

## Тема 7.3 Системное единство производства и эксплуатации

Любой объект, как и любое событие, может иметь множество различных черт. В предыдущих разделах было дано описание инвестиционного процесса при *самом общем, неформализованном подходе.* В этом описании показано *значение конструкции и системы,* рассматриваемых как свойства *инвестиционного объекта*— технического мегакомплекса, обеспечивающего решение задачи удовлетворения потребностей. Одновременно была установлена последовательность *операционных элементов инвестиционного процесса,* к которым относятся:

проектирование;

конструирование;

изготовление (строительство);

эксплуатация.

При проектировании *производственных предприятий,* а также *обслуживающих комплексов* до настоящего времени на первое место выдвигались и решались проблемы *производственных и обслуживающих систем.* В соответствии с оптимальной эксплуатационной системой *действие* технических средств требует определенных *затрат.* Пренебрежение этим фактом приводит к преждевременной *утрате эффективности* технических средств.

*Эксплуатационная система* представляет собой комплекс отношений энергетических, массовых и информационных преобразований. Этот комплекс нетрудно выявить при сопоставлении задач, вытекающих из требований эксплуатации, с разновидностями отношений. В данном случае мы сопоставляем лишь *эргономические требования* с отношениями информационных преобразований.

Производственная и эксплуатационная системы отнюдь не находятся в противоречии, а, напротив, выступают как *взаимно поддерживающие.*

*Оптимизация объекта* в свете критериев *социально-технической адекватности* требует согласования производственного процесса с эксплуатационным.

Таким образом, *производство* и *эксплуатация* — это два самостоятельных процесса, реализуемых с помощью одних и тех же технических средств и с позиций тех же самых средств.

*Удовлетворение потребностей* с помощью технических средств представляет собой бесконечную *цепь* тесно связанных между собой *звеньев.* Большим социальным злом была бы ситуация автономного развития такой цепи, ибо это угрожало бы подчинить человека техническим средствам. Задачи инженеров, экономистов, хозяйственников и других специалистов должны сводиться к неустанному исследованию значения всевозможных звеньев *производственной цепи.*

## Тема 7.4 Информационная система как основа сложного действия

Для того чтобы упростить словесное описание связей и их значения, будем обращать внимание на процессы, реализованные соответственно с указанными системами, пользуясь теми же самыми обозначениями: вместо «системы исследовательского комплекса», рассматриваемой в качестве системы, будем писать, например, просто «исследования». Постулаты операционного творчества, адресуемые исследователю, обусловливают прохождение потока информации **в** обратном направлении. Поэтому между проектировщиками и конструкторами, с одной стороны, и между исследователями — с другой, должен существовать *диалог,* обеспечивающий необходимое в данной ситуации взаимопонимание. *Проектировщики являются творцами концепций свойств технических средств.* Они должны быть полностью подготовлены для проведения анализа возможности удовлетворения потребностей путем использования технических средств. Таким образом, в процессе исследования потребностей исследователи имеют поддержку со стороны творцов технических средств. Необходимым условием рациональности действий при исследовании потребностей является сотрудничество проектировщиков, конструкторов и исследователей так как, в конечном счете, именно проектировщики и конструкторы несут ответственность за социально-техническую адекватность машин, помещений и технических мегакомплексов.

Исследовательская система *bd* связана с производственной системой *wt.* Сотрудничающие с проектировщиками и конструкторами исследователи должны стремиться к получению такой информации, которая существенна для производственного процесса. Однако исследователи не влияют непосредственно на производство, в результате чего здесь имеет место односторонняя направленность связи, т. е. от *wt* к *bd.*

# РАЗДЕЛ 8 ОПТИМИЗАЦИЯ

## Тема 8.1 Стремление к оптимизации — врожденная человеческая склонность

Один из создателей основ научной организации труда замечательный ученый Кароль Адамецкий (1866—1933 гг.), читая лекцию в Варшавском политехническом институте, привел пример врожденных склонностей человека к оптимизации действия.

Сущность выбора, обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что решения относятся к действиям, которые предпринимаются уже после осуществления определенных процедур. Примером таких процедур могут служить элементы оптимизирующего действия. Решения могут приниматься на основе различного рода выбора. К ним относятся:

- критериальный выбор;
- волевой выбор;
- случайный.

Очевидной методологической предпосылкой *случайного выбора* оказывается *минимизация области выбора.* Примером этого может быть выбор пути на распутье в случае, если нет дорожных указателей и признаков, которые позволили бы оценить вероятность правильного выбора пути. Наличие таких признаков хотя *бы* в какой-то мере могло бы иметь значение критериального выбора. Примером случайного выбора явился бы выбор пути, основанный на подбрасывании монеты. Обоснованием такого поступка могло бы быть полное незнание, а посему и полная неуверенность при острой необходимости отправиться в путь. Это сопряжено с *риском допустить ошибку,* которая может обнаружиться уже в процессе движения. Однако такой выбор не исключает и счастливого исхода.

*Волевой выбор* осуществляется тогда, когда *отсутствует полный комплекс критериев* и имеется необходимость *заполнения информационного пробела* при полном понимании риска. Чем меньше информационный пробел, тем меньше риск. При этом нельзя не учитывать альтернативной возможности — проведения процедур по дополнению комплекса критериев. Однако с этим связан *риск запоздания выбора решения относительно дальнейшего действия.*

## Тема 8.2 Сложная оптимизация

На практике довольно часто проявляется стремление к *одно-критериальной оптимизации.* Это объясняется влиянием экономических школ, которые стараются свести оценки к денежному измерению. При этом предполагается, будто бы все можно свести к такому измерению и определить всевозможные затраты некоторым способом, позволяющим единообразно оценить их. Более широкий подход к *проблеме технической оптимизации* обнаруживает, что чем более удачно выбраны критерии, тем большей оказывается вероятность получения оптимальных технических средств. Критерии устанавливают, руководствуясь *целесообразностью создания изделия* и *принципами конструирования.* Их многообразие в сочетании с многообразием оптимизируемых величин определяет *сложность комплекса критериев.* Однако многочисленность критериев не исключает в ряде случаев непосредственных операций, т. е. *однокритериальной оптимизации.* Необходимо обратить внимание на то, что оптимизируемым объектом может быть не изделие в целом, рассматриваемое как техническое средство, а лишь та или иная его характеристика. Потребность *частичной оптимизации* возникает в связи с тем, что процесс создания изделия проходит ряд стадий.

Частичная оптимизация— это путь к *общей оптимизации.* Общая оптимизация становится возможной благодаря тому, что в процессах проектирования и конструирования происходит постепенная оптимизация.

## Тема 8.3 Дивергентно-конвергентный процесс

Расходящимся *(дивергентным)* или сходящимся *(конвергентным),* что в самом общем случае можно изобразить с помощью графа, представляющего собой *модель стадий и узлов* (по теории графов *ребер* и *вершин* соответственно) . Процесс начинается с формулировки общей *концепции решения рассматриваемой задачи* на стадии. *щей оптимизации* с использованием *основных критериев,* на которых мы остановимся более подробно в последующей части главы. *Комплексная задача* распадается на *частные задачи,* которые решаются на стадии.

## Тема 8.4 Метод взвешенных оценок

В самом общем случае метод взвешенных оценок можно описать следующим образом:

- существует многоэлементное множество, представляющее собой *область возможных решений X:Ri (I* = 1,2,..., *n);*
- используется *комплекс m основных критериев: Kj* (*I*=1, ... ...,*m);*
- возможны различные обстоятельства использования решений *Ri,* причем при различных обстоятельствах *основные критерии* имеют различные значения, оцениваемые *коэффициентами значимости Wj* (*I*=!, 2, .., *e)*.

*Оценка решения* сводится к принятию значений критериев *Kj* и численных значений *Wj.* Это осуществляется путем оценки каждого решения *Ri.*Субъективные влияния лиц, осуществляющих оценку, и прежде всего задающих численные значения критериев при различных обстоятельствах, можно уменьшить посредством участия группы экспертов. *Метод взвешенных оценок* иногда пытаются использовать для оценки *затрат* при изготовлении и эксплуатации технических средств, которые могут быть реализованы по различным *системам* и *конструкциям.* Однако в таких случаях может сконцентрироваться столько неточных частных оценок, что полученный *общий показатель,* а именно такой смысл имеет произведение, могут привести к серьезным ошибкам. Нерешенной проблемой остаются методы оптимального выбора решения многих технических задач, имеющих важное социальное значение.

## Тема 8.5 Прогнозируемые оптимумы

*Аналитическое решение* различных оптимизационных задач позволяет надеяться на то, что процесс разработки технического средства будет действительно оптимальным, если будут соблюдаться условия, принятые в математической модели. Можно ожидать сравнительно полного соответствия между тем, что моделировалось, и моделью. Обычно это не связано с большими трудностями, если основные черты явления известны и их можно описать с помощью *математической модели,* используя при этом относительно однозначные связи Если я договорился со своим знакомым относительно его визита ко мне (при определенных условиях), то в момент, когда я пришел к выводу, что эти условия наступили, и при допущении однозначной связи между этими условиями и способом поведения знакомого я жду его визита.

Дело обстоит по-иному, когда мой знакомый бывает у меня проездом через город, в котором я живу, и когда эти поездки бывают нерегулярными, а уж тем более если не в каждый свой приезд знакомый посещает меня. В данном случае если в моей памяти сохранились какие-то характерные обстоятельства, которые благоприятствуют визиту моего знакомого, то после того, как я установил наличие этих обстоятельств, я могу предвидеть приход моего знакомого. Здесь специально выбран пример случайных посещений знакомого, ибо в нем, как и в большинстве других реальных процессов, сказываются случайные факторы. В таких случаях применяются различные *модели, имитирующие стохастический процесс,* которые могут быть:

- конкретными;
- абстрактными.

Конкретные модели представляют собой материальные комплексы, обладающие свойствами, аналогичными свойствам комплексов, *система* которых подвергается оптимизации. В процессе поиска оптимальных

решений конкретная имитационная модель применяется таким образом, чтобы можно было смоделировать появление конкретных случайных событий.

Имитационная абстрактная модель носит математический характер. При этом модель включает факторы, которые могут принимать случайные значения. Эти значения вводятся на основе *таблиц случайных чисел* или же с помощью различных средств, обеспечивающих получение случайных величин, например рулеткой (отсюда и название: *метод Монте-Карло)*.

# РАЗДЕЛ 9 КОМПЛЕКС КРИТЕРИЕВ

## Тема 9.1 Проблема выбора критериев

*Минимизация случайных влияний* возможна посредством использования *комплекса критериев.* Подбор критериев надо основывать на соответствующих закономерностях. По-видимому, не требует доказательства то, что критерии должны:

- быть понятными каждому, осуществляющему оценку;
- давать возможность однозначного обоснования.

Правильность выбора мы ищем в *обоснованиях;* задавая вопрос: «На каком основании?» и отвечая на него, мы предпринимаем те или иные действия. Характерная черта, отличающая определяющие критерии среди неисчислимого множества самых разных критериев, — выбор их из соответствующих принципиальных соображений. Роль комплекса критериев в проектно-конструкторском процессе *объектом оценки* являются:

- *система* как основа функционирования *технического средства*
- *конструкция,* которая в нужной степени регламентирует изготовление изделия, предназначенного для того, чтобы стать техническим средством.

## Тема 9.2 Обоснование целесообразности создания технического средства

Назначение технических средств состоит в обеспечении связи человека с материальной средой. Эта связь должна не только делать возможной существование в условиях, имеющих место в обществе; она должна также способствовать развитию человека и общества. Технические средства должны служить удовлетворению постоянно изменяющихся *потребностей;* это удовлетворение потребностей — не цель, а лишь способ обеспечения существования и развития человеческого общества. Указанные предпосылки позволяют определить виды принципиальных *обоснований целесообразности создания технического средства,* которыми являются:

- обоснование целесообразности существования;
- обоснование целесообразности развития

Недостаточное внимание к этим требованиям при проектировании *элементов техносферы* — технических мегакомплексов или даже единичных машин — может привести и приводит *к антигуманным последствиям.* Иногда стремление к росту, увеличению видов и количества элементов техносферы заслоняет различные последствия этого роста и прежде всего негативные последствия, которые ощущаются все больше, особенно жителями городов.

Эти два фундаментальных обоснования целесообразности создания технического средства определены не только нашими собственными наблюдениями, но также и обильной научно-технической литературой, появляющейся во всем мире.

С учетом выделенных в этом разделе двух типов *обоснований* в рамках данной работы рассмотрим два критерия:

*критерий социально-технической адекватности;*

*критерий устранения избыточности.*

## Тема 9.3 Критерии классификации технического средства и изделия

В процессе проектирования рассматривается искусственный материальный комплекс, который должен существовать как *техническое средство;* в процессе конструирования учитываются системные свойства технического средства, но материальный комплекс понимается как *изделие.*

*Проблема классификации* в случае технических средств, особенно в их системном понимании, выглядит иначе, чем для средства, конструктивный вид которого уже выбран в процессе проектирования. *Технические мегакомплексы* классифицируются прежде всего по типам технических средств. При этом используются *критерии,* вытекающие из исходных обоснований. Критерии, определяемые исходными обоснованиями, служат эффективной основой критического анализа современной *классификации элементов техносферы как технических средств.* Воспользуемся здесь понятием *структуры* технических средств, определяемой конструктивным видом.

## Тема 9.4 Стереотипные критерии

В капиталистическом хозяйстве устоялись определенные комплексы стереотипных критериев. Из источников, главным образом англосаксонских, можно для иллюстрации составить такой комплекс критериев, в который войдут:

- *прибыль* — основной экономический критерий,— которая определяется затратами на изготовление и сбыт и выручкой, получаемой от продажи;
- *критерии объективного функционирования,* т. е. технические показатели;
- *критерии субъективного функционирования,* т. е. субъективная привлекательность для покупателя;
- *техническая адекватность,* или поверхностно понимаемое качество;
- пригодность для различных условий, увеличивающая непосредственную привлекательность;
- приспосабливаемость к изменяющимся условиям функционирования.

Однако решающим остается критерий прибыли, получаемой от продажи большого числа изделий, что в упрощенном виде представляется как *прибыль с оборота.*

# РАЗДЕЛ 10 ОСНОВЫ НОРМАЛИЗАЦИИ

## Тема 10.1 Закон ограниченного многообразия

Можно признать, что ограничение многообразия — явление всеобщее. В мире растений и животных, несмотря на эволюцию, нет неограниченного числа видов. Количество химических элементов невелико. Наши алфавиты, созданные в общественных условиях с использованием накопленных знаний, представляют собой наиболее компактные наборы среди упомянутых в этом абзаце. Закон ограниченного многообразия имеет важное *практическое значение,* хотя в литературе и искусстве стремятся к чему-либо противоположному — там тем лучше, чем больше отходят от повседневности во имя поисков эстетических либо эмоциональных откровений. Закон ограниченного многообразия имеет особое значение *в техносфере.* Многообразие, являющееся необходимым условием существования единства сложных технических средств и способов их действия, должно иметь границы. *Увеличение различий между характеристиками изделий обусловлено требованием их общественно-технической адекватности в непрерывно усложняющемся мире.* С другой стороны, чем шире используется данное изделие как техническое средство, тем в большей мере имеет значение закон ограниченного многообразия.

## Тема 10.2 Принципы конструкции

*Принципы конструкции* мы относим к существенным *свойствам* и *особенностям* изделия. В связи с этим рассмотрим искусственный материальный комплекс с точки зрения его конструктивной сущности, памятуя, что *необходимым условием существования изделия является конструкция.* Исследование любого материального комплекса, представляющего собой техническое средство, указывает на присутствие нагрузок. Это либо силы, либо, обобщенно, какие-то силовые поля, вызванные действием технического средства. Таким образом, действующие материальные комплексы испытывают нагрузки Исследование различных состояний технического средства с точки зрения нагрузок должно быть тесно увязано с анализом результатов принятия *системы* как основы действия технического средства, а затем — с анализом результатов принятия *конструктивного вида изделия.* Нагружение можно изменять, изменяя либо одно, либо другое. Следует помнить о том, что уточнение системы происходит по мере уточнения конструкции.

Особенностью искусственных (и не только искусственных) материальных комплексов является возникновение различных нагрузок как фактического результата различных действий, предпринятых для удовлетворения потребности. Если имеются различные возможности, то в качестве *принципа* следует принять *оптимизацию нагружения,* т. е. выбор *системы сил,* наилучшим образом отвечающей выбранному комплексу критериев.

# РАЗДЕЛ 11 ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ

## Тема 11.1 Действие — способ — метод

Рассматривая затронутые вопросы в более общем виде, скажем, что наибольшее значение мы придаем методическим действиям, хотя оцениваем по достоинству также значение импульсивных действий. Не во всех случаях методическая деятельность возможна и целесообразна. Отказ от импульсивных действий мог бы быть причиной *невозможности каких-либо действий* в ситуациях, требующих незамедлительной реакции. Иногда необходимо доверять нашей интуиции. Эти замечания имеют особое значение для инженеров, занятых в производственных (особенно строительных) и эксплуатационных процессах.

Мы всегда действуем каким-либо *способом.* Однако даже в случае принятия хорошо обдуманного и наиболее разработанного способа как основы действия на наши действия влияют непредвиденные обстоятельства и наше психофизиологическое состояние. *Способ действия машины* удается предвидеть точнее, чем способ действия человека. Здесь мы хотим обратить внимание на то, что необходимо различать способы действия проектировщиков и конструкторов и способы действия информационных машин, в частности ЭВМ.

## Тема 11.2 Системный подход

Только в относительно простых случаях появляется возможность ограничить проект определением возможности использования известной конструкции. При учете производственных критериев часто возникает *смешанный случай* — проект включает и то и другое, т. е. указывает на возможность применения известной конструкции, а также на потребность разработки новых конструкций. В противоположность модели, *системный подход* позволяет однозначно выделить технические действия с замыслами; к этим действиям мы относим:

- *проектирование,* объектами которого являются *техническая система* или ее элемент, т. е. вход /, выход *О,* действие технического средства *D,* а также концепция конструктивного вида П;
- *конструирование,* объектом которого является конструкция *Ks.*

Способ действия основан на подборе конструктивных характеристик, определяющих конструкцию.

## Тема 11.3 Часть и целое как проблема проектирования

*Проблема части и целого* не всегда оценивается должным образом. Тем не менее проектировщики и конструкторы, создающие технические средства, все яснее осознают и представляют себе тот факт, что любое действие и любой материальный объект, которым они пользуются в своей деятельности, — это лишь *то, из чего складывается большая целостность.* К этим большим целостностям относятся сложные *процессы* и упорядоченные материальные совокупности.

Активизированное *сознание* инженера, поддерживаемое деятельностью лиц, заинтересованных *проблемой удовлетворения потребностей,* становится фактором *выявления потребности.*

*Эвристические возможности разума* вызывают образ артефакта: образ действия и образ технического средства *Т,* обеспечивающего существование входа / и выхода *О* соответственно потребности.

*Рационализированные знания* усиливают осознанное или неосознанное действие нашей *интуиции,* что приводит к созданию *системы* Sm, а затем и *конструкции* Ks. Только в 50-х годах нашего столетия мы поднялись на второй уровень абстракции в области *технических действий.* Началось *установление сложности* путем *анализа действия мегакомплексов.*

Сам факт запоздалого прихода к понятию «система» как свойству сложных целостностей указывает на необходимость преодоления больших трудностей при определении этого свойства.

# РАЗДЕЛ 12 АРТЕФАКТ В СИСТЕМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Частное проектирование ведет к созданию конструкций технических средств без учета всех возможных последствий их существования. Наиболее опасным результатом частного проектирования стала *угроза экосфере.* Эта опасность заставила обратить внимание на то, что экосферу необходимо рассматривать *целостно* и *комплексно,* в связи, с чем артефакт сделался важной проблемой *системного проектирования. Основной постулат* системного проектирования состоит в том, что *техносфера* имеет смысл и значение лишь как средство обеспечения развития *человека* в условиях *жизни общества. Потенциальное существование* материального комплекса — это-замысел проектировщика и конструктора и его результаты, т. е. *система и конструкция.* Создание этих абстракций, определяющих потенциальное существование артефактов, происходит во времени, которое должно быть использовано так, чтобы можно было с *желаемой полнотой и уверенностью* предвидеть историю существования артефакта.

Историю существования артефакта, понятийно сниженного до» *изделия,* можно разделить на три стадии:

- изготовление;
- функционирование изделия как технического средства;
- ликвидация изделия как технического средства.

## Тема 12.1 Установление потребностей

Существование потребности вызывается *несоответствием* в чем-либо. Это может быть недостаток или излишек. Обычно несоответствие понимается как недостаток (отсутствие) предмета или действия. Только в последнее время мы начинаем замечать, что не только тогда, когда чего-либо нет, но также и тогда, когда что-либо имеется в чрезмерном количестве, появляются *напряженные состояния,* затрудняющие жизнь.

Так обстоит дело в обыденном понимании. Однако инженер хорошо представляет рассматриваемое здесь *понятие несоответствия.* Например, обработка валов приводит к браку тогда, когда их диаметр либо меньше, либо больше допускаемого; так обстоит дело со всеми изделиями, обусловленными *конструкцией.*

## Тема 12.2 Ключевая проблема

Проектно-конструкторский процесс не следует понимать как следствие, *навязанное однозначно установленным заданием.* Навязывание задания без права его интерпретации *освобождает исполнителя от ответственности* за всевозможные непредвиденные (в том числе неблагоприятные) последствия его действий. Поскольку технические средства проектируются и конструируются для того, чтобы они служили человеку и обществу, то *ключевым моментом* является правильное установление потребностей. Выявление и определение потребностей осуществляются с помощью совокупности операций большого социального значения. Только в отношении простых технических средств достаточно несложных и одноразовых проектно-конструкторских операций, завершающихся однозначным *описанием потребности. Для создателей техносферы установление потребности равнозначно формулированию системной или конструктивной задачи.*

Установление потребности должно вести к *формулированию технической задачи* как задачи создания системы или конструкции. Это формулирование должно включать описание совокупности условий, необходимых и достаточных для выполнения того, что требуется с точки зрения *процесса удовлетворения потребности.* Указанное описание не должно содержать ничего такого, что могло бы ограничивать выбор *оптимального решения,* пригодного к использованию в конкретных условиях.

## Тема 12.3 Потребности как результат творческих технических действий

Инженер направляет свое внимание, прежде всего на полученное им *задание,* которое чаще всего понимается и должно пониматься как *проблемное задание.* Лишь помощник конструктора может получать *беспроблемные задания.* Но и проектировщик, и конструктор, а особенно лица, помогающие координировать их действия, должны замечать *проблему внутренних потребностей процесса проектирования* и *конструирования.* Признавая диалектическое единство процесса и его результата, не следует недооценивать анализ потребностей, вызванных потребностями, т. е. того, что в рассматриваемом случае называется *проектированием проектирования.* Однако мы ограничим свое внимание лишь некоторыми основными вопросами.

## Тема 12.4Потребность в системе

Представленный обзор важнейших *внутренних потребностей* (логически следующих из внешних потребностей), творчески удовлетворенных посредством соответствующего социально-техническо**го** комплекса, указывает на потребность в системе. *Основной системой является информационная система;* системы энергий и масс — это только ее средства. Информационная система, разработанная на основе определения творческих и вспомогательных действий, должна предохранять от случайностей в организации труда и от введения структур, которые в теперешней своей форме можно назвать *нагромождением разрастающихся организационных клетушек,* часто продиктованных неупорядоченными персональными взглядами.

# РАЗДЕЛ 13 МЕТОД ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ

Нужен не только ученый, но и смышленый.
Русская пословица

Он (человек) творец, он создатель, он
бог, человечество было сформировано не
императорами, жрецами и полководцами,
а теми, кто создал топор, колесо, самолет ...
кто открыл железо,
полупроводники, радиоволны.

Д. Гранин

## Тема13.1 эвристический прием

С давних времен перед человеком часто возникала следующая ситуация. Существующее орудие труда, станок, машина или оружие переставали удовлетворять новым требованиям или имели нетерпимые недостатки, которые требовалось исключить. Человек (конструктор) пытался найти улучшенное техническое решение путем логического анализа недостатков и их устранения или путем поиска и приспособления аналогичного решения в природе либо в другой области техники, или путем случайных изменений прототипа.

Все эти не очень систематизированные попытки поиска улучшенного решения называют методом «проб и ошибок». На основе этого древнего способа в 40—50-х годах возник метод эвристических приемов.

Рассмотрим сначала метод «проб и ошибок» на одном из многочисленных примеров решения задачи таким образом.

Задача Микулина. В начале XX века, когда началось активное освоение самолетов с двигателями внутреннего сгорания, большинство катастроф было связано с отказом магнето, «исчезновением искры» зажигания. В связи с этим возникла задача повышения надежности работы магнето.

Задачу эту после долгих мучительных поисков методом «проб и ошибок» решил юный А. Микулин, будущий академик, известный конструктор авиационных двигателей. Он шел по улице и увидел огромного мужика с сильно подбитым, заплывшим и ничего не видящим левым глазом. В это время и пришла догадка! Микулин сразу бросился бежать в гостиницу к знаменитому авиатору С. И. Уточкину, и между ними состоялся следующий разговор:

У людей по два глаза, подбейте левый — правый будет видеть.

Я никому не собираюсь подбивать глаза, — сказал Уточкин.

На Вашей машине одно магнето — поставьте два!

— Прекрасная мысль! — сказал Уточкин. — За каждый благо-полученный показательный полет я буду платить тебе по 10 рублей";

Показательные полеты тогда были платные. И Уточкин сдержал свое слово, посылая после каждого полета переводы.

Чем начинающий изобретатель отличается от опытного конструктора?

При успешном решении творческой инженерной задачи (ТИЗ) начинающий изобретатель всегда получает два результата: методический результат (изобретение способа решения интересующей его ТИЗ) и искомое техническое решение, полученное с помощью изобретенного способа.

Когда изобретатель встречается с новой ТИЗ, то в первую очередь пытается ее решить с помощью изобретенного им способа. Если это не удается (поскольку встретился другой тип задачи), то изобретатель опять

вынужден искать решение методом «проб и ошибок». При успешном решении он открывает для себя второй способ решения изобретательских задач. Так постепенно у человека формируется свой набор способов, и он из начинающего превращается в опытного изобретателя.

Такие способы или правила решения ТИЗ называют эвристическими приемами (ЭП), в которых содержится краткое предписание или указание, «как преобразовать» имеющийся прототип или «в каком направлении нужно искать», чтобы получить искомое решение. ЭП обычно не содержит прямого однозначного указания, как преобразовать прототип. Если ЭП имеет отношение к рассматриваемой ТИЗ, то он содержит «подсказку», которая облегчает получение искомого решения, однако не гарантирует его нахождения. Различным людям требуется приложить различные усилия, чтобы догадаться до искомого (удовлетворительного) технического решения.

Опытные изобретатели обычно имеют свой индивидуальный набор (фонд) ЭП.

Рассмотрим примеры решения ТИЗ с помощью ЭП.

Задача 1. В опытном образце прецизионного станка имеется винтовая пара подачи инструмента. При имеющихся размерах и усилиях для вращения вала подачи требуется момент 118 Н-м. Такое усилие вращения вызывает недопустимые деформации, и точность обработки деталей не выдерживается. Для обеспечения необходимой точности требуется в 3—4 раза снизить вращающий момент. Принцип подачи инструмента изменять нежелательно.

Используем ЭП 5.9: «Заменить трение скольжения трением качения».

Решение. На валу и гайке делают винтовые пазы, которые заполняют шариками. Винтовая пара превращается в подшипник качения.

Задача 2. Снятие гипсовых повязок связано с двумя неудобствами: при распиливании повязки можно повредить тело; при разбивании причиняется

боль и может быть повреждена слабо сросшаяся кость. Требуется изобрести способ, устраняющий указанные неудобства.

Для решения этой задачи подходят два ЭП.

Прием 3.б: изменить направление действия рабочей силы или среды; заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места и без затрат времени на их доставку.

Решение. Для предупреждения травм и облегчения снятия повязки проволочную пилу помещают в предварительно смазанную подходящей смазкой трубку, выполненную, например, из полиэтилена, и заранее записывать под повязку при ее наложении. Распиливать повязку можно от тела наружу.

Многие ЭП могут быть успешно использованы в самых различных областях техники. Они со временем морально не стареют и оказываются полезными для других изобретателей. Способы решения ТИЗ, открытые различными изобретателями, имеет смысл собирать, обобщать и обучать им начинающих изобретателей. Именно на этих свойствах основывается метод эвристических приемов, который интегрирует в методически доступной форме опыт многих изобретателей.

Метод эвристических приемов разработан и нашел широкое распространение в СССР. Известно около десяти его модификаций. Наиболее полное изложение дано в книгах, специальные подходы — в работах.

## Тема13. 2 Межотраслевой фонд эвристических приемов

Метод эвристических приемов основывается на межотраслевом фонде ЭП. Этот фонд в нашей методике содержит описания 180 отдельных ЭП, которые разделены на 12 групп (таблица 13.1).

Межотраслевой фонд ЭП имеет универсальный характер, т. е. ориентирован на самые различные области техники. Поэтому ЭП имеют обобщенное описание

Таблица 13.1 - Группы эвристических приемов

| Номер группы | Наименование группы | Число ЭП |
|---|---|---|
| 1 | Преобразование формы | 16 |
| 2 | Преобразование структуры | 19 |
| 3 | Преобразования в пространстве | 16 |
| 4 | Преобразования во времени | 8 |
| 5 | Преобразование движения и силы | 14 |
| 6 | Преобразование материала и вещества | 23 |
| 7 | Приемы дифференциации | 12 |
| 8 | Количественные изменения | 12 |
| 9 | Использование профилактических мер | 22 |
| 10 | Использование резервов | 13 |

| | | |
|---|---|---|
| 11 | Преобразования по аналогии | 9 |
| 12 | Повышение технологичности | 16 |
| | Всего | 180 |

Смысл выделять части объекта, которые называют «элементами». К ним могут относиться детали, узлы, блоки, агрегаты, технологические операции и другие части объекта.

В конце описания многих ЭП в целях сокращения дается еще указание «Инверсия приема», по которому рекомендуется также производить обратное преобразование или искать в обратном направлении. Например, ЭП 1.2 имел бы следующее полное описание: «сделать в объекте (элементе) отверстия и полости, исключить в объекте (элементе) отверстия и полости».

В любом межотраслевом или специализированном фонде ЭП после описания приема должно даваться 2— 3 примера решения ТИЗ с помощью этого ЭП. В целях экономии места в нашем фонде описания ЭП даны без примеров применения. Для более углубленного изучения ЭП и в качестве учебного практикума рекомендуется самим подобрать (из истории техники или патентного фонда) примеры решения ТИЗ для каждого ЭП. В связи с этим приведем примеры для двух ЭП.

Примеры решения ТИЗ для ЭП .

1. В конце XVIII века опытами с вольтовым столбом (первым химическим источником тока для практического применения) занимались псе подряд, даже короли. Русский академик В. В. Петров вместо обычных десятков элементов сделал вольтов столб на 2100 элементов и получил качественно новое явление — электрическую дугу — непрерывный электрический свет большой интенсивности.

2. Струей воды до 10 МПа размывали грунт. Увеличение давления до 100 МПа позволило струей воды резать камень и металл.

ЭП 10.8 сформулировали супруги Лазаренко, которые много труда и времени затратили на поиск средств борьбы с разрушением электрических контактов от возникающей электрической искры. В итоге они сделали два попутных изобретения, нашедших широкое практическое применение:

- искровую мельницу для измельчения (распыления) металла в порошок;
- электроискровую обработку металлов.

Этот ЭП супруги Лазаренко еще много раз успешно использовали. В их редакции ЭП имеет следующее описание: «Нет в природе совершенно вредных явлений. Из каждого вредного фактора можио извлечь пользу».

Более полные фонды приведены в книгах, где описаны соответственно 257 и 420 эвристических приемов. В книге приведено описание 88 ЭП с примерами решения задач.

Если опытный конструктор познакомится с межотраслевым фондом ЭП, то у него может создаться впечатление, что большинство приемов ему известно и они как будто ничего нового не дают. Однако вся сила фонда ЭП заключается в системном всестороннем охвате проблемы или задачи. Опытному конструктору (по сравнению с другим конструктором, имеющим фонд ЭП) потребуется несоизмеримо больше времени, чтобы вспомнить или додуматься до большинства приемов и подсказанных ими решений. Наряду с этим можно утверждать, что при всегда ограниченном времени решения ТИЗ некоторые ЭП так и не попадут в его поле зрения, т. е. фонд ЭП полезен не только для начинающих, но и для опытных изобретателей.

## Тема 13.3. Постановка задачи и ее решение

Можно выделить следующие шесть последовательных этапов в постановке и решении ТИЗ методом эвристических приемов.

1. При использовании метода ЭП можно ограничиться предварительной формулировкой задачи. Более глубокий и плодотворный

поиск решения с помощью метода ЭП осуществляют на основе уточненной постановки задачи.

2. Решение задачи начинается с выбора подходящих I ЭП. Исходной информацией для этого являются: I конкретный прототип, который требуется улучшить; / главный недостаток прототипа, который необходимо | устранить;главное противоречие развития прототипа, которое требуется устранить.

Исходя из этой информации просматривают наименования групп ЭП и отбирают (в основном по интуитивным соображениям) наиболее подходящие группы. В каждой из этих групп просматривают все ЭП и выбирают также по интуиции те ЭП, которые представляют интерес для рассматриваемой задачи.

Если выбор групп ЭП вызывает затруднения, то наиболее подходящие ЭП отбирают путем просмотра всего фонда.

В методе эвристических приемов не имеет смысла давать какие-либо формальные или полуформальные правила выбора наиболее подходящих ЭП для конкретной задачи. Если смотреть глубже, то выбор ЭП интуитивно производит Нетруктор, решающий задачу, просматривая все подряд ЭП. На беглый просмотр знакомого фонда ЭП затрачивается мало времени — всего 5—10 мин. В связи с этим матрица Г. С. Альтшул- лера , на составление которой затрачен громадный труд, не имеет большого смысла. Она не

экономит время и часто не указывает ЭП, наиболее эффективные для решения конкретной задачи. % 3. Преобразование прототипа начинают с помощью выбранных приемов. При этом фиксируют идеи улучшенных технических решений в виде короткого описания или (и) упрощенной схемы.

Следует заметить, что у межотраслевого фонда ЭП есть одно сильное свойство, которое называем эвристической избыточностью. Отметим две разновидности этого свойства. Во-первых, многие задачи могут быть решены независимо разными ЭП-J Так, например, приведенная задача Микулина с установкой на самолете резервного. Вторая разновидность эвристической избыточности состоит в том, что одновременное использование двух и более ЭП приводит к их взаимному усилению в смысле облегчения нахождения улучшенного технического решения. Также случаи, когда два и более ЭП по отношению к конкретной ТИЗ по отдельности имеют слабую эвристическую подсказку, но при одновременном их использовании они явно взаимно усиливают друг друга. Проиллюстрируем это на примере.

Задача Яблочкова. В 1875 г. русский изобретатель П. Н. Яблочков предложил электрическую свечу (дуговую лампу), в которой между концами двух угольных стержней (расположенных на одной прямой навстречу друг другу или под углом) образовалась электрическая дуга. Для поддержания этой дуги требовалось с некоторой постоянной скоростью сближать электроды по мере их сгорания. Это осуществлялось с помощью специального автоматического регулятора. Свеча Яблочкова быстро нашла практическое применение. Однако она имела существенный недостаток: регуляторы были сложными по конструкции и малонадежными, поскольку сгорание электродов по разным причинам было неравномерным.

Требовалось найти простое техническое решение, обеспечивающее надежную работу электрической свечи от двух электродов.

П. Н. Яблочков решал эту задачу, по-видимому, методом «проб и ошибок». После долгих мучений и попыток он, сидя в одном из кафе Парижа, случайно увидел два рядом лежащих карандаша и сразу понял, что электроды нужно расположить рядом параллельно, разделив их выгорающим изоляционным материалом. При таком ТР вообще исключается сложный ненадежный регулятор. Указанные ЭП, по-видимому, помогли бы Яблочкову раньше додуматься до решения.

Таким образом, с помощью отдельных приемов и наборов ЭП получают множество улучшенных допустимы} технических решений. Если при этом не удается получить удовлетворительного улучшенного решения, то рекомендуется наиболее перспективный из найденных вариантов принять за прототип и снова повторить его обработку с помощью подходящих ЭП.

4.Следует напомнить, что множество улучшении; допустимых технических решений получено только с учетом главного недостатка или главного противоречия раз вития. В дальнейшем эти решения используются ка] прототипы для поиска новых улучшенных технически: решений, учитывающих другие недостатки и противоречия развития. В результате получают новое множеств улучшенных допустимых технических решений.

Формы анализа последствий от нового технического решения (ТР)

Таблица 13.2 – ТР

| Какие отрицательные последствия принесет новое ТР для вышестоящего по иерархии и снежных ТО? | Какие положительные последствия принесет новое ТР для вышестоящего по иерархии и смежных ТО? |
|---|---|
| 1.<br>2. | 1.<br>2. |

5. Для найденных в технических решений проводят анализ их совместимости со смежными и вышестоящими по иерархии ТО.

Сопоставительный анализ таблиц для разных улучшенных технических решений позволяет обоснованно выбрать наиболее эффективное из них. Для особо перспективных вариантов делаются попытки устранить нетерпимые отрицательные последствия. При этом могут быть использованы также, метод эвристических приемов или методы мозговой атаки.

6. Работа выполняется для всех прототипов, рекомендуемых в постановке задачи. В результате формируется достаточно полное множество улучшенных технических решений, из которого предстоит выбрать перспективные варианты для дальнейшей проработки. Такой выбор производится с учетом главных критериев развития и показателей, а также с точки зрения патентоспособности.

Дальнейшая проработка выбранных технических решений может быть проведена в соответствии с рекомендациями, данными в прил. 5 (этапы 5.—7).

Следует отметить, что метод ЭП только повышает возможность получения допустимого улучшенного технического решения, но не гарантирует нахождение такового. И у разных пользователей этого метода (как и других эвристических методов) часто получаются разные результаты, что в большой мере зависит от приобретенных навыков и природных способностей.

## Тема 13.4 Индивидуальный фонд эвристических приемов

Межотраслевой фонд ЗП для отдельных пользователей (изобретателей) является «чужим» инструментом, малоудобным и малоприспособленным к конкретной творческой личности. В связи с этим каждому начинающему изобретателю и рационализатору рекомендуется работать над созданием индивидуального фонда ЭП, т. е. над созданием своего, более удобного и эффективного инструмента.

Можно дать следующие рекомендации по формированию индивидуального фонда ЭП.

*1.* Выбор из межотраслевого фонда наиболее подходящих ЭП с учетом специфики решаемых задач (области техники, в которой работает изобретатель) и своих симпатий к определенным ЭП. При этом возможно п желательно изменить форму изложения ЭП, сделать ее более понятной, образной, эмоционально насыщенной и ориентированной на интересующий класс задач. ЭП должен возбуждать и активизировать мышление. Например, для ЭП 8.9 возможна следующая редакция: «Создать гиганта или карлика! И найти ему применение»; для ЭП 10.8 — «Обратить вред в пользу!» и т. д.

*2.* Подбор для каждого ЭП в индивидуальном фонде примеров решения ТИЗ из своей области или функционально близких областей. При подборе примеров следует иметь в виду, что они должны играть двойную роль. Во-первых, это аналогичная решенная задача, помогающая плодотворно использовать ЭП при решении новой задачи. Во- вторых, пример может быть использован как готовое или полугодовое решение в рассматриваемой задаче. Вероятность таких случаев может быть высокой, поскольку примеры берутся из своей или близких областей техники.

*3.* Разбор и анализ последних решенных задач и запатентованных технических решений в своей области и функционально близких областях. Особое внимание следует обращать на новые образцы

техники на уровне лучших мировых достижений. При этом тщательно изучают моменты перехода от прототипа к улучшенным техническим решениям и формулируют новые обобщенные ЭП подбирают более удачные примеры решения ТИЗ, проток типы и другую полезную информацию. В результате такой работы происходит расширение и обогащение индивидуального фонда ЭП.

Таким анализом и обработкой новых технических решений нужно заниматься так же регулярно, как спортсмены ходят на тренировки, музыканты поддерживают свою форму ежедневной (или три раза в неделю) игрой на инструментах, и т. д. Ведь изобретательство не менее увлекательное занятие!

*4.* Изучение конструктивной эволюции ТО для выявления и формулировки эффективных ЭП, ориентированных на интересующий класс изделий или технологий, и подбора для них интересных примеров решения ТИЗ. Методика и примеры выявления и формулировки объектно или проблемно ориентированных ЭП даны в гл. 4.

*5.* Существует также интересный и эффективный способ оперативной формулировки ЭП для решения конкретной ТИЗ. Суть способа состоит в том, что для имеющегося прототипа $P_к$ по патентным описаниям строят ретроспективно цепочку конструктивной эволюции

Ph-S Ph-2 fk-1 Ph>

где $P_{ft_}$ — это прототип для технического решения $P_к$; Ph-a — прототип для $P_{к_x}$ и т. д. Далее проводят анализ переходов $(P_{A_X}\ P_k)_t$ $(P_{h_2}\ P_h\text{-i})$, ... и формулируют обобщенные ЭП, обеспечивающие такие переходы. Полученные ЭП используют для получения новых решений 1 от прототипа $P_h$.

*6.* Обобщение опыта. После каждого удачного решения ТИЗ изобретатель должен обобщить свой опыт, т. е. рассмотреть возможность

формулировки нового ЭП на основе решенной задачи или возможность ее использования как примера в каком-либо ЭП.

Наряду с созданием индивидуального фонда ЭП представляется полезным формирование фонда прототипов по своему классу ТИЗ. В качестве прототипов в первую очередь рекомендуется брать существенно отличающиеся наиболее перспективные технические решения, изделия на уровне лучших мировых образцов.

## Тема 13.4 Выбор стратегий и методов

Каким образом проектировщики и члены групп планирования могут распознать методы, отвечающие стоящим перед ними задачам, и избежать применения непригодных методов? Какие особенности того или иного метода проектирования делают его пригодным в одной ситуации и неподходящим в другой? Обязательно ли испробовать метод или хотя бы понять его, чтобы судить о том, будет ли его применение в данных условиях плодотворным или окажется пустой тратой времени? Не ответив на эти вопросы, невозможно найти простой и быстрый способ отбора из всего множества методов, описанных в этой книге, тех, которые соответствуют реальной ситуации. В этой главе предпринимается попытка ответить на эти вопросы путем классификации новых методов и обсудить пути их объединения в "стратегию проектирования".

### Стратегии проектирования

Термин "стратегия проектирования" применяется в значении определенной последовательности действий, выбираемой проектировщиком или группой планирования с целью преобразования исходного технического задания в готовый проект, т.е. как совокупность традиционных приемов технического и архитектурного конструирования. Решение о том, какие действия должны быть включены в стратегию проектирования, может быть принято с самого начала, или же можно менять стратегии в зависимости от результатов, полученных после выполнения предыдущих действий. Содержание каждого "действия проектировщика" определяется самим проектировщиком; некоторые действия могут быть основаны на новых методах типа описанных в этой книге; другие могут базироваться на традиционных приемах, таких как изготовление эскизов и масштабных чертежей; наконец, третьи будут представлять собой новые процедуры, самостоятельно изобретенные

проектировщиком. Если метод проектирования, взятый сам по себе, позволяет решить задачу проектирования, он называется стратегией; однако в большинстве новые методы не дают такой возможности, поэтому они здесь рассматриваются как "действия", из которых можно составить различные варианты законченных стратегий. Лучше всего понимать стратегию проектирования просто как намеченную последовательность методов.

Целесообразно классифицировать стратегии проектирования по двум показателям:

а) степень заданности;

б) схема поиска.

Заранее заданные, или готовые, стратегии жестко зафиксированы заранее, подобно программам ЭВМ. Они больше подходят для проектирования в знакомых ситуациях, чем для новаторской деятельности, т.е. для объединения или модернизации существующих конструкций, а не для изобретения новых изделий. Что бы ни говорили проектировщики-практики, значительная доля работы по проектированию совершается по предсказуемой схеме и, следовательно, может быть выполнена на ЭВМ. В идеале заданная стратегия должна быть линейной, т.е. состоять из цепочки последовательных действий, в которой каждое действие зависит от исхода предыдущего, но не зависит от результатов последующих действий.

Если после получения результатов на одной из стадий приходится возвращаться к одному из предыдущих этапов, стратегия становится циклической. Встречаются случаи, когда две или несколько петель обратной связи охватывают друг друга, как показано на рисунке 11.2.

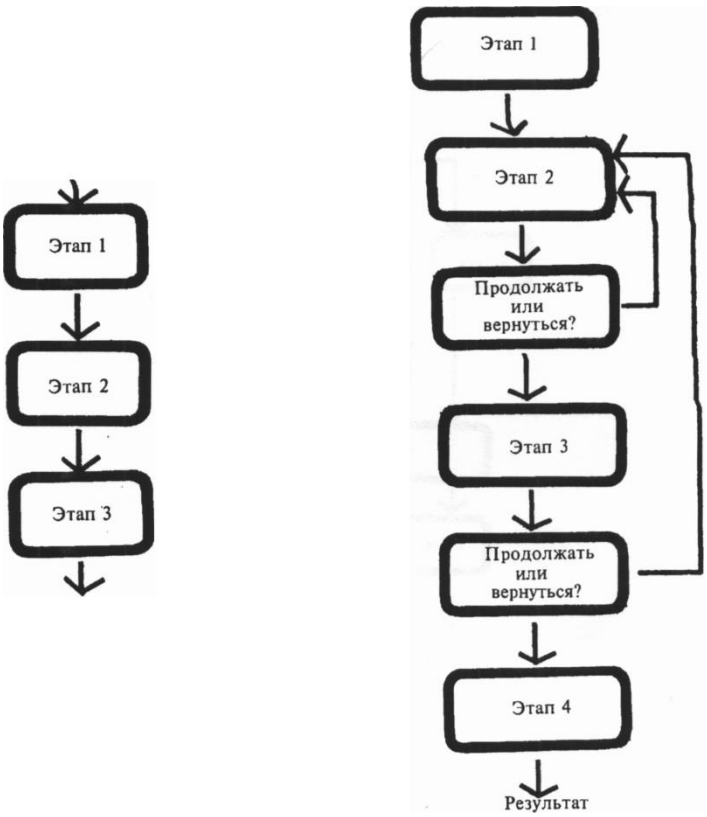



Рисунок 11.2- Этапы стратегии

Такая схема с петлями характерна для многих программ для ЭВМ. Самой страшной опасностью для проектировщика в этом случае становится бесконечная петля, или "порочный круг", из которого не удается выбраться иначе, как изменив структуру задачи. Когда действия проектировщика не зависят одно от другого, может иметь место разветвленная стратегия (рисунок 11.3). В нее могут входить параллельные этапы, очень выгодные в том отношении, что позволяют увеличить количество людей, одновременно работающих над задачей, и конкурирующие этапы, которые позволяют в определенной степени видоизменять стратегию в соответствии с исходом предыдущих этапов.

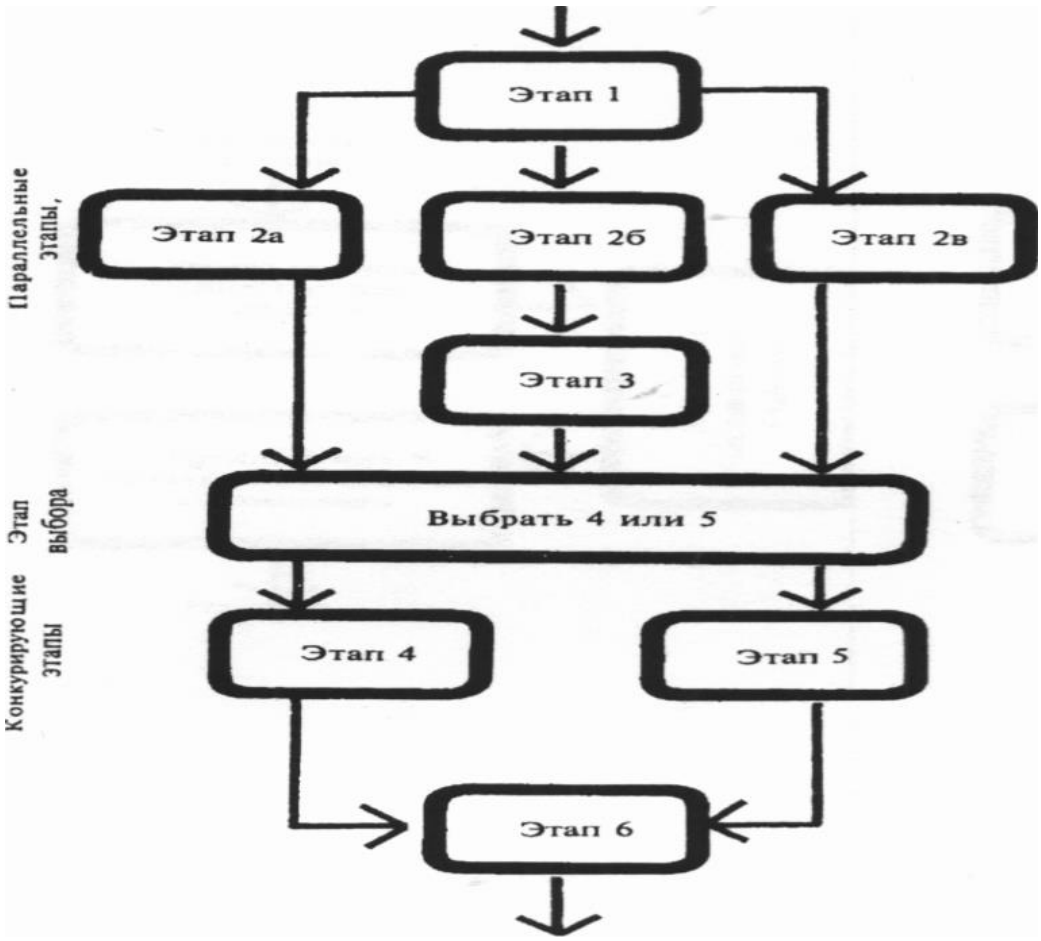



Рисунок 11.3-Разветвлённая стратегия

Адаптивные стратегии (рисунок 11. 4) отличаются тем, что в них с самого начала определяется только первое действие. В дальнейшем выбор каждого действия зависит от результатов предшествующего действия. В принципе это самая разумная стратегия, поскольку схема поиска всегда определяется на основе наиболее полной информации. Ее недостаток состоит в невозможности предвидеть и контролировать затраты и сроки выполнения проекта. Многие предпочитают применять адаптивную стратегию, поскольку она позволяет полностью использовать способность человека (и животных) "импульсивно" совершать правильные действия. Надежным, но ограниченным вариантом адаптивного поиска является стратегия приращений. Эта осторожная стратегия составляет основу традиционного проектирования, особенно в тех отраслях промышленности, которые базируются на ремесленном производстве; кроме того, на ней основаны многие методы автоматической оптимизации.

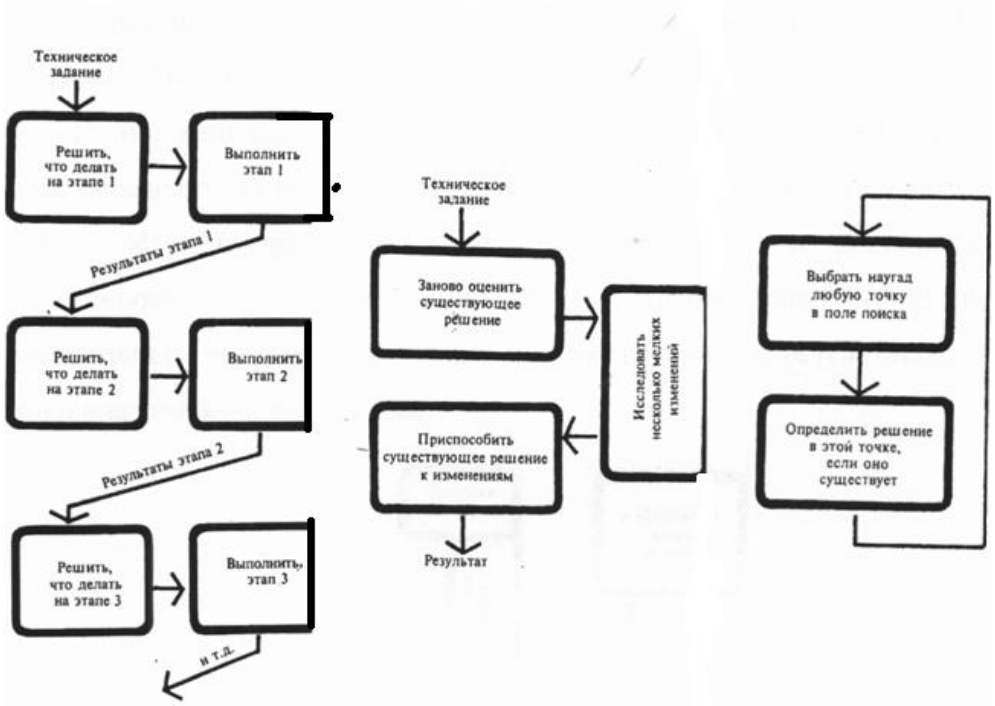



Рисунок 11.4 - Адаптивна стратегия

Изменение путем приращений, т.е. последовательное изменение по одной переменной за каждый шаг. При поиске методом приращений имеется риск пропустить хорошие решения, когда приращения слишком велики, и не охватить всего поля поиска, когда они слишком малы.

Случайный поиск, отличающийся абсолютным отсутствием плана (рисунок 6), в некоторых случаях оказывается наилучшим методом. Эта на первый взгляд неразумная стратегия пригодна тогда, когда необходимо найти множество отправных точек для независимого поиска в широком поле неопределенностей. При выборе каждого этапа сознательно не учитываются исходы остальных этапов, что придает поиску предельно непредубежденный характер. Принцип случайного поиска лежит в основе таких приемов, как метод «мозговой атаки». Он используется в новаторском проектировании, когда неразумно пренебрегать ни одним из внесенных предложений, пока не будет собрана дополнительная информация. Примером может служить поиск способов применения нового синтетического материала. Интересно

отметить, что в большинстве попыток создания "машинного интеллекта" важная роль отводится "генератору случайных чисел".

Применение адаптивных стратегий и стратегий приращений преследует цель обеспечить ту или иную степень изменения схемы поиска в ходе самого поиска. Методы управления стратегией, или самоорганизующиеся системы проектирования (рисунок 11.5), предназначены для оценки стратегии в целом в соответствии с внешними критериями и промежуточными результатами осуществления самой этой стратегии.

Эти методы призваны обеспечить сохранение принятой стратегии, несмотря на возникающие трудности, до тех пор, пока она остается перспективной, и ее замену или отказ от нее, когда она пере стает соответствовать окружающей обстановке.

Рисунок 11-5

# РАЗДЕЛ 14 ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

## Тема 14.1 Теоретические основы проектирования и конструирования.

Для того, чтобы успешно производить изменения в техносфере, необходимо развивать теоретическую базу всех трех основных этапов существования технического объекта:

проектирование конструирование

изготовление ,

эксплуатация.

Научной основой проектирования и конструирования на современном этапе их развития является наука о техническом (инженерном) творчестве. Элементами науки о техническом творчестве являются:

- ***теория технических систем***
- ***методология проектирования и конструирования***
- ***теория записи конструкций***
- ***методология опытно-конструкторских работ и проектных исследований***

Под методологией будем понимать:

1) описание деятельности процедур, из которых складывается деятельность,

2) совокупность методов проектирования и конструирования или их основ)

Результатом проектирования или конструирования является подготовка информации для изготовления технического объекта (ТО).

Под ТО будем понимать элемент техносферы предназначенный для удовлетворения потребностей. В большинстве случаев технический объект является синонимом технической системы (ТС) - совокупности взаимодействующих технических элементов, обладающей свойствами отличными от свойств элементов.

В дальнейшем будем считать, что объектом проектирования является система, является конструкция.

## Тема 14.2 Методология проектирования, как проектного изыскания.

Последовательность проектирования

Проектирование - процесс получения описаний, достаточный для изготовления нового технического объекта в заданных условиях. Проектирование как процесс протекающий во времени подразделяют на стадии, этапы, процедуры, операции.

Согласно ГОСТ 22487-77 г Проектирование - это процесс составления описания, необходимого для создания еще не существующего объекта

Проектирование не следует путать ни с искусством, с математикой. Это сложный вид деятельности.

Стадии проектирования:

- предпроектные исследования
- техническое задание
- техническое предложение

Этапы проектирования - часть процесса проектирования относящаяся к одному уровню технического объекта. Этапы состоят из проектных процедур, а проектные процедуры из проектных операций.

Стадия НИР: на основании изучения потребностей общества в получении новых объектов, научно-технических Достижений в данной и смежных областях, имеющихся ресурсов определяют основные

Этап - часть процесса проектирования, включающая в себя формирование всех требующихся описаний объекта, относящихся к одному или нескольким иерархическим уровням или аспектам.

Аспекты: функциональный (отображение основных принципов функционирования объекта), конструкторский (реализация результатов

функционального проектирования с естественными науками, ни спех завести от правильности конструкции, существующие fo пространстве и времени), технологический (реализация результатов конструкторского проектирования, т.е. связанные с описанием методов и средств изготовления).

Таким образом, процесс проектирования можно представить и реализовать в соответствие с определенным планом (логической схемы), который отображает очередность выполнения основных процедур и операций).

1. Результатом проектной деятельности является упорядоченная совокупность сведений, служащих знаковой моделью объекта, в момент проектирования реально не существующего. Способы преобразования информации при проектировании нельзя отобразить полностью в виде математических соотношений, т.е. невозможно построить строгую математическую модель такого процесса преобразования.

- Ввиду сложности проектируемых объектов на каждом этапе разработки вовлекаются различные специалисты, что придает проектированию характер коллективной деятельности.
- Проектируемый объект входит в упорядоченную иерархию и, с одной стороны, выступают как часть системы более высокого уровня, а с другой как система для объектов более низкого уровня. Т.е. при проектировании можно условно разделить две сферы: внешнюю (объект - часть системы более высокого ранга); внутреннюю (объект совокупность компонентов).
- Проектирование имеет итерационный многовариантный характер.

Процесс проектирования реализуется в соответствии с определенным планом, который обычно представляется в виде логической схемы построения проекта.

Отмеченные особенности не позволяют полностью алгоритмизировать процесс проектирования, т.е. составить строгий рецепт, позволяющий автоматический переходить от проектного задания к готовому проекту. В связи с этим создается методология проектирования, как проектного изыскания. При этом к методологии предъявляются следующие требования: она должна быть общей, т.е. пригодной для широкого круга инженерных задач; способной давать решение для проектирования больших сложных систем; доступной для изучения и использования; гибкой и способной к расширению; обеспечивающей высокое качество проектирования; его надежность и эффективность

Решение творческих задач при проектировании технических объектов разделяют на эвристические и систематические. Эвристическими называются такие решения, когда важная часть творческого процесса и получения творческого результата совершается в мозгу человека и не может быть логически получена из предшествующего опыта. Систематическими называют решения, полученные в результате использования методов, стимулирующих "творческую деятельность" (например, метола мозгового штурма, морфологического метода, инверсии, синектики, эмпатии, алгоритма решения изобретательских задач).

Применение систематических методов в проектировании совместно с вычислительной техникой позволяет осуществить автоматизацию проектирования и создавать системы автоматизированного проектирования. В настоящее время под САПР понимают систему, основанную на регулярном применении современных математических методов и средств вычислительной техники в процессе принятия проектных решений, в организации и управлении проектирования. Традиционные методы проектирования. 1. "Кустарный промысел"

Предшественником современного проектировщика был не чертежник, а ремесленник.

- Ремесленник не вычерчивал эскиз своего изделия (просто не в состоянии этого сделать), не может дать удовлетворительного ответа почему он принимает то или иное решение.

- Изменение формы кустарного изделия происходит в результате бесчисленных неудач и успехов в процессе многовекового поиска методом проб и ошибок. Может привести к усовершенствованию изделия, которое в очень высокой степени удовлетворяет нуждам потребителя.

- Несовершенство процесса заключается в том, что изменению каждый раз подвергается что-то одно, а в целом опираются на ранее найденные решения даже в тех случаях когда требуется полная реорганизация всей формы в целом.

- Невозможно исследовать и изменить изделия, без грубого экспериментирования над ним самим.

*1.* Чертежный способ проектирования - метод проектирования путем создания чертежей в определенном масштабе. Отличие от "кустарных методов" - поиск проб и ошибок отделен от производства, что эксперименты и изменения проводятся на масштабном чертеже, а не на самом изделии.

*1.1* Стало возможным задавать размеры изделия до его изготовления, а это позволило разделить труд по изготовлению отдельных частей между несколькими работниками.

*1.2* Позволило увеличить размеры изделия и темпы его изготовления. Переход от кустарного производства к чертежу позволил конструктору видеть все изделие целиком, манипулировать им, вносить изменения в конструкцию.

Для того, чтобы обосновать необходимость перехода на новые методы проектирования необходимо попытаться дать ответы на следующие вопросы:

Описание процесса творческого мышления:

1.1 Очень часто человек, стоящий на пороге оригинального решения, в течение длительного периода, как кажется, только впитывает информацию, сравнительно бесплодно работает над, казалось бы, тривиальными задачами, увлекается посторонними делами. Этот период известен как "вынашивание идеи ".

1.2. Решение трудной задачи или возникновение оригинальной зачастую происходит совершенно неожиданно и носит характер резкого изменения формулировки задач. В результате такой трансформации сложная задача нередко становиться простой.

Таким образом, традиционный способ решения сложных задач состоит в том, чтобы в каждый момент времени рассматривать лишь одну концепцию целого.

В традиционных методах сложность задачи преодолевается путем выбора временного решения в качестве средства для оперативного исследования как ситуации, которой должен удовлетворять проект, так и взаимосвязей и зависимостей между составными частями конструкции.

4. Самое трудное в любом проектировании - это преодоление сложностей поиска в обширном пространстве с миллионами возможных комбинаций отдельных узлов и деталей. При использовании традиционных способов для преодоления этого задачу решают по частям. При этом большинство комбинаций узлов и деталей исключается из рассмотрения, и исследование ограничивается, выбранным "на ощупь" набором компонентов, взаимные отношения которых можно выявить и изучить с помощью чертежа. Такой способ дает прекрасные результаты на уровнях изделий и их частей, однако его пригодность для принятия решений на уровнях систем крайне сомнительна. Анализ возникающих при этом трудностей позволяет сформулировать следующие выводы: пространство, в котором нам приходиться вести поиск новых систем, реализуемых на основе

оригинальных изделий и узлов, слишком велик для упорядоченного обследования и слишком не изведано для того, чтобы в нем могли разобраться люди, знания и опыт которых ограничивается рамками одной из существующих специальностей в области проектирования, необходимы проектировщики широкого профиля, творческое мышление которых базировалось бы на глубоких и теоретических знаниях на всех уровнях - от общественных движений до конструкции деталей. Точно также необходимы новые методы, которые обеспечивали бы достаточный объем информации для принятия решений на каждом из этих уровней.

## Тема 14.3. Обзор новых методов

Из глубоко анализа новых методов становиться ясно, что объектом новых методов является не столько проектирование в общепринятом смысле слова, сколько мыслительная деятельность предшествующая выполнению чертежей и проектов.

Общее у новых методов проектирования то, что они направлены на то, чтобы заставить проектировщика "думать вслух", позволить другим людям, ознакомиться с процессами мышления, которые до сих пор протекают у него в голове, объективировать процесс проектирования. В одних случаях это достигается с помощью слов, в других - с помощью математических символов, но почти всегда используется какая-нибудь схема, позволяющая разделить задачу проектирования на части и указать взаимные связи между этими частями.

С точки зрения исследования творчества проектировщик представляет собой черный ящик, на выходе которого возникает загадочное творческое озарение; с точки зрения логики, проектировщик - это прозрачный ящик, в котором происходит логический процесс, до конца не поддающийся объяснению; с точки зрения управления проектировщик является самоорганизующейся системой.

4.1. Проектировщик как "черный ящик"

В данном случае считается, что самая важная часть процесса проектирования совершается в голове проектировщика, в определенной области, неподотчетной сознанию. В этом случае проектировщик получает на выходе решения, которым он доверяет и которые часто оказываются удачными, хотя он сам не может объяснить каким образом ему удалось прийти к этим решениям.

Некоторые методы проектирования, разработанные с целью стимулирования "творчества".

Мозговая атака - это беседа, каждый участник которой свободно выдвигает предположения, а критика запрещена, можно считать, что этот метод снимает социальные запреты, налагаемые каждым человеком на свои высказывания в обычном разговоре. Практическая ценность мозговой атаки заключается именно в том, что на ранних этапах проектирования, когда структура еще н ясна и не подвергалась трансформации, резко повышается скорость генерирования данных, имеющих отношения к этой задаче. Результаты мозговой атаки целесообразно ввести в "черный ящик" одного человека, поручив ему классифицировать все высказанные идеи, сведя их в согласованную структуру.

Синектика - Метод подобен мозговой атаке и отличается от него только тем, что основная задача сводиться к обсуждению одного-двух вариантов технических решений, но с детальным их рассмотрением. В число группы людей включаются специалисты различных профессий.

Основные выводы:

Выходные действия проектировщика определяются входными сигналами, исходящими от подлежащей решению задачи, а также другими входными воздействиями, связанными с предыдущими задачами и прошлым опытом.

Согласившись временно ослабить социальные запреты, можно ускорить образование выходных сигналов, но при этом они приобретают более случайный характер.

Чтобы проектировщик дал выходное решение в соответствии с поставленной задачей, ему нужно дать время на осознание и преобразование образцов, изображающих структуру в целом. В течение длительных и бесплодных поисков решения он может неожиданно найти новый способ

построения структуры задачи, позволяющий разрешит конфликты. Это позволяет ему преобразовать сложную задачу в простую.

Контроль интеллекта над формами ввода структуры задачи в "черный ящик" проектировщика, по-видимому повышает вероятность получения выходных реакций, содержащих решение задачи.

## 4.2. Проектировщик как "прозрачный ящик".

Считается, что процесс проектирования может быть объяснен до конца, даже если проектировщики-практики и не в состоянии убедительно обосновать каждое из принимаемых ими решений. При этом проектировщик действует по заданной схеме: он пользуется той информацией которую получил, проводит анализ, синтез, оценку и повторение циклов до тех пор пока не найдет наилучшее из всевозможных решений. Такое предположение, несомненно, справедливо в случае оптимизации переменных в хорошо известной ситуации проектирования, но оно лежит также в основе таких системных методов проектирования, как морфология и системотехника, которые призваны дать возможность человеку решать непривычные для него задачи проектирования "машинными" приемами.

Общие черты проектирования при "прозрачном ящике":

Цели, переменные и критерии задаются заранее.

Поиску решения предшествует проведение анализа

Оценка результатов дается в основном в словесной форме и построена на логике.

Заранее фиксируется стратегия.

### 4.2.1. Расчленимые задачи проектирования

Коренным вопросов при применении этих методов является вопрос о возможности декомпозиции задачи на отдельные части, которые можно потом решать параллельно. Когда зада поддается расчленению, решению каждой частной подзадачи можно уделить больше внимания, что позволяет

резко сократить сроки проектирования. Этап на котором задача поддается расчленению во многом зависит от характера задачи. /Добавить пример/

### 4.2.2. Нерасчленимые задачи проектирования.

Многие задачи не поддается расчленению. В таком случае, на какого-то работника - руководителя проекта - возлагается полная ответственность за все существенные решения, будь то общая схема изделия или отдельные ее части.

### 4.3.3. Цикличность

Ясно, что основной целью методологии проектирования является уменьшение цикличности и увеличение линейности проектирования. Наличие цикличности предполагает, что важнейшие частные задачи остаются незамеченными до поздних этапов работы, а когда они обнаруживаются, требуется пересмотр решений, положенных в основу проекта, или даже полное прекращение работы. Линейность же предполагает, что все важнейшие проблемы можно обнаружить с самого начала, а риск того, что на более поздних этапах большие затраты труда разработчиков придется списывать в убытки почти или совсем исчезает.

Полной линеаризации всякой разработки мешает непредсказуемость зависимостей между отдельными частями задачи. Схема зависимо*с*тей между проблемами одной задачи носит непостоянный характер и находится в зависимости от выбора частных решений каждой под проблемы. В таких случаях структура задачи остается неустойчивой до тех пор, пока не будут приняты принципиальные решения по проекту. Поэтому беспочвенны попытки специалистов по теории решений находить решение задач проектирования путем однократного прохода по такой линейной последовательности:

1) выявление всех существенных переменных;

2) определение зависимостей между ними;

3) обеспечение оптимальных значений выходных параметров.

Уже сам процесс выявления переменных ("куда входит определение целей и критериев для отбора хороших проектов), очевидно, представляет собой один из труднейших вопросов проектирования. Его трудность связана с тем, что цель проектирования - внедрить в существующий мир новые формы, которые тем или иным способом служили бы его совершенствованию. Однако суждение о том, в чем заключается совершенствование, на первых порах не может не быть произвольным и субъективным. Только после того, как исследованы возможности осуществления многих альтернативных изменений, можно с четкостью, достаточной для расчетов по методам "прозрачного ящика", определить цели, критерии и структуру задачи. Сейчас применение этих детерминистских методов ограничено такими задачами, которые сводятся к внесению в конструкцию мелких изменений, в то время как структура задачи остается практически неизменной по сравнению с предшествующей конструкцией. Конечно, к этому типу на практике относится значительная часть проектных работ, но в него не входят поисковые работы и создание конструкций на основе новых принципов. Важнейшим достоинством методов "прозрачного ящика" является то, что они позволяют автоматизировать, а следовательно, и ускорить детальные и многократно повторяющиеся операции проектирования. Если же их использовать для создания действительно новых конструкций, исчезает гибкость, необходимая для исследования неопределенной задачи и циклических петель.

### 4.3.4. Линейность

Можно ли рассчитывать, что не только типовые, но и поисковые задачи удастся решать линейными способами? Перспективными в этом отношении представляются следующие два направления.

Первое направление заключается в том, чтобы превратить разрабатываемое изделие в конструкцию поточного (или сборного) типа, т.е.

сначала спроектировать взаимозаменяемые нормализованные узлы для каждой существенной функции. При этом все зависимости к расхождения между общей схемой изделия и конструкцией отдельных узлов сводятся к небольшому числу точно предсказуемых и неизменных правил соединения одного нормализованного узла с другим. В результате появляется возможность, используя методы "прозрачного ящика", создать большое количество новых изделий, не задумываясь над конструкцией самих узлов. Куда же в таком случае делась пресловутая цикличность? Она не исчезла. Она появляется на более высоком уровне при разработке нормализованных узлов и правит их соединения. Эта нерасчленимая операция намного сложнее, чем разработка сдельных изделий, и в настоящее время ее осуществлении, по-видимому, основную роль играет чудо "черного ящика" особо одаренных проектировщиков

для того, чтобы обеспечить приемлемый уровень нормализации, такой процесс мышления должен давать на выходе в высшей степени упорядоченные и системно организованные результаты, то нужно думать, что в основе этого метапроцесса проектирования лежат системные методы "прозрачного ящика". Разработка нормализованных узлов и правил их сборки, по-видимому, имеет нечто общее с предельно упорядоченным процессом, в результате которого осуществляется химический синтез нового материала. Пока же, однако, разработка нормализованных узлов остается загадкой "черного ящика".

Второе направление в обеспечении линейности проявляется в адаптивных стратегиях Общим для этих методов является то, что разработка по методу "прозрачного ящика" предваряется или сопровождается проведением исследований на более высоком уровне общности. Задача этих исследований заключается в том, чтобы научными способами, расширить и предсказать "пространство маневрирования" проектировщика при решении наиболее важных подпроблем. Примером исследований подобного рода

может служить испытание различных вариантов наборного телефонного кода до того, как приступить к конструированию автоматической телефонной станции. Исследование в этом случае можно рассматривать как этап прогнозирования, в котором методами "прозрачного ящика" определяется диапазон возможных выходов на каждом этапе до того, как этот этап осуществлен

Само собой разумеется, что, если в принятой последовательности этапов, выполняемых методами "прозрачного ящика", обнаружится несоответствие между выходом какого-нибудь этапа и входом следующего этапа, неизбежно придется прибегнуть к цикличности и обратному прослеживанию зависимостей.

Смысл исследований заключается в том, чтобы заранее определить границы диапазона, в который будет попадать промежуточный выход, чтобы запланированная стратегия учитывала все случайности.

Ясно, что при обеспечении линейности вторым способом разработка ведется в обратном порядке по сравнению с обычным, т.е. от внутреннего к внешнему, а не от внешнего к внутреннему, как при обычной разработке, которая идет от описания основных характеристик изделия к деталировке его конструкции. Это позволяет обойти невыполнимое требование теоретиков проектирования, согласно которому прежде чем рассматривать детали следует определить цели и критерии. Введение дополнительного этапа прогнозирования дает возможность начать решение с наиболее достоверно и детально определенного конца задачи вместо того, чтобы, как обычно, ограничивать поле поиска мелкими изменениями, не выходящими за пределы одного конструктивного решения. За это преимущество, однако, приходится весьма недешево платить. Поскольку исследования дают ответы на более широкий круг вопросов, чем требуется для решения данной задачи проектирования, и являются дополнением к последовательности строго необходимых операций проектирования, их можно отнести к статье

сверхнормативных затрат. Однако затраты материальных средств и рабочего времени конструкторов в связи с проведением исследовательских работ компенсируются отчасти тем, что при этом ошибки исправляются с небольшими затратами на ранних стадиях, тогда как на более поздних стадиях их исправление было бы связано с большим материальным ущербом; частично они компенсируются также экономией времени, которое было бы затрачено на обратное прослеживание причинно- следственных связей; наконец, они отчасти компенсируются теми знаниями и навыками, которые при этом приобретаются и могут быть использованы не только при работе над данным проектом, но в значительной мере и при создании аналогичных конструкций в будущем. Когда при выполнении какого-то проекта недорогой ценой получают опережающую информацию, которую можно использовать в дальнейших разработках, это можно считать объективированным эквивалентом перенесения проектировщиком (рассматриваемым как "черный ящик") приобретенного опыта с одной задачи на другую. Исследовательская работа отличается от личного опыта более высокой точностью и меньшей зависимостью от общей формы прошлых конструкций.

## 4.4.Проектировщик самоорганизующаяся система

ной системы проектировщика, или путем стимулирования ее к выработке более разнообразных выходных реакций. В методах "прозрачного ящика" выходная реакция нервной системы обобщается на языке внешних символов с таким расчетом, чтобы она включала альтернативы, одной из которых является замысел проектировщика. Основным недостатком в обоих этих случаях является то, что проектировщик вырабатывает множество неизученных альтернатив, слишком большое для того, чтобы его можно было исследовать медленным способом сознательного осмысливания. Он не может сделать выбор интуитивно, по принципу "черного ящика", так как при этом вновь вступят ограничения, налагаемые опытом прошлого, а он как

раз стремится этого избежать; в то же время он лишен возможности ускорить и автоматизировать поиск с помощью вычислительной техники, так как для составления программы для ЭВМ необходимо заранее знать цели и критерии отбора, а они сами зависят от имеющихся вариантов Столкнувшись с такой дилеммой, проектировщик вынужден либо а) отказаться от использования новых методов, либо б) произвольно (по принципу "черного ящика") выбирать цели для поиска на ЭВМ, либо же в) корпеть над невыполнимой задачей всестороннего оценивания каждого отдельного варианта и выходом из дилеммы, связанной с обилием нового материала и необходимостью сразу оценить его в целом, может явиться разделение работы проектировщика на две части:

- Осуществление поиска подходящей конструкции;
- Контроль и оценка схемы поиска (управление стратегией).

Это дает возможность вместо слепого перебора вариантов применить осознанный поиск и найти короткие пути, используя как внешние критерии, так и результаты частичного поиска.

Этот метод применим в том случае, если функция управления стратегией обеспечивает создание правильной модели, как стратегии поиска, так и внешней ситуации, которой должна удовлетворять создаваемая конструкция.

Эта модель "осознания себя + ситуации" (или "стратегии + цели") имеет своей целью предоставить каждому члену бригады проектировщиков возможность самому определить, насколько избранная методика поиска способна привести к приемлемому равновесию между новой конструкцией, ситуацией, на которую она окажет влияние, и стоимостью ее разработки. Для этого, во-первых, создается метаязык из терминов, достаточно широких по значению, чтобы с их помощью можно было описать зависимости между стратегией и проектной ситуацией, и, во-вторых, посредством этого

метаязыка проводится оценка модели, которая позволяет предсказывать вероятные результаты альтернативных стратегий, с тем, чтобы можно было выбрать наиболее перспективную из них. Следовательно, этот метод не удовлетворяет одному из основных требований, предъявляемых к методам управления стратегией: он не обеспечивает возможности частых и радикальных изменений стратегии в случаях, когда обнаруживаются грубые ошибки в предсказаниях по модели. Ясно, что в более гибком методе средства изменения стратегии должны сообразовываться с вероятностью того, что такое изменение потребуется. Отсутствие гибкости у метода сетевого планирования заставляет применять его для решения типовых, а не поисковых задач проектирования. В знакомых же проектных ситуациях его гибкость часто достаточна.

От метода управления стратегией в первую очередь требуется, чтобы он позволял связать результаты каждой части поиска с конечными целями, даже если, как чаще всего и бывает, эти цели еще не определились. Чтобы такая оценка частностей стала возможной, нужно показать, насколько исход каждой частной ступени в стратегии проектирования соответствует (или не соответствует) желаемым результатам стратегии в целом. Самого сможет описать, каким образом была Построена эта Медаль (Фогель)

Теперь слабость любого метода проектирования, в том числе новых методов, заключается в трудности управления стратегией при решении нетривиальных задач проектирования, а также в тех случаях, когда над одним проектом работает много людей. Поэтому очевидно, что на следующем этапе предстоит создать надежные методы разработки стратегий для бригад проектировщиков и управления этими стратегиями.

## Тема 14. 4 Методы управления проектными работами

Приведенный ниже список критериев взят из длинного перечня целей проектирования и совершаемых при проектировании ошибок, упоминаемых различными теоретиками проектирования, Сокращение этого перечня до пяти критериев, указываемых ниже, в значительной мере основано на субъективных оценках Выявление и пересмотр важнейших решений

Каждое решение, которое может принести значительные убытки, должно быть выявлено как можно раньше. Такие решения на начальных стадиях следует принимать лишь условно и предусматривать возможности их пересмотра в случае, если в дальнейшем обнаружится, что они вступают в противоречие с надежно установленными фактами или с обоснованными суждениями специалистов. К числу важнейших решений относятся исходные допущения, цели, выбор моделей, выбор стратегии и метод изменения стратегии.

Соотношение затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с убытками от принятия неверного решения

Как уже говорилось, убытки от незнания должны превышать затраты на дорогостоящие усилия проектировщика при поиске ответа на тот или иной вопрос. При оценке предложения о проведении какой-либо работы нужно прежде всего выяснить, на какие вопросы она даст ответ.

Распределение заданий в соответствии с возможностями исполнителей.

Каждому члену бригады проектировщиков нужно поручать такие задания, с которыми он способен справиться, в которых он разбирается и в выполнении которых заинтересован. Это требование гораздо труднее выполнить в бригадах, состоящих из представителей разных специальностей и работающих над новаторским проектом, чем в группах традиционных

проектировщиков одинаковой специализации, занятых решением задачи знакомого типа.

### Отыскание полезных источников информации

Информацию следует искать во всех основных источниках стабильности и нестабильности, с которыми приходится считаться при проектировании. Прежде чем обратиться к важной или дорогостоящей информации из различных источников, следует провести независимые испытания или получить сведения о надежности этих источников. Нельзя ожидать, что консультанты будут давать нужные рекомендации, если они не знакомы с взаимодействиями и конфликтами, характерными для данного проекта.

### Исследование взаимосвязей между изделием и средой

Прежде чем выбрать или изменить стратегию проектирования, нужно оценить чувствительность конструкции к изменениям среды и соответственно среды к изменениям конструкции. Только после этого можно наметить главные решения, установить цели и уточнить структуру задачи.

Эти пять критериев управления стратегией сами собой подразумеваются, когда проектировщики одной специальности совместно работают над типовой задачей. Однако из опубликованных описаний методологии проектирования напрашивается вывод, что эти пять критериев редко выдерживаются в тех случаях, когда для решения новых типов задач проектирования либо создаются бригады из специалистов разного профиля, не обладающих опытом проектирования, либо привлекаются опытные проектировщики, которые в ходе работы над задачей вынуждены выходить за пределы своей компетенции.

## Тема 14.5 Расчлененный процесс проектирования

Описываемые здесь новые методы можно рассматривать как ступени на пути к гораздо более широкому процессу проектирования, который необходим для непрерывного развития искусственной среды. В этой главе сделана попытка набросать достаточно широкую — и в то же время достаточно свободную — картину этого расширенного процесса проектирования, включив в нее многие из описываемых в ч. II новых методов и показав их связь друг с другом, а также с тем, что было, и с тем, что, по-видимому, идет на смену. Основной вывод этой главы заключается в том, что наблюдаемая ныне картина есть обескураживающий результат распада традиционного метода проектирования на куски. Задача теперь состоит в воссоединении этих кусков в новый связный процесс, который был бы эффективным на любом уровне общности и детализации. Приведенная ниже картина наблюдаемой в настоящее время фрагментации мыслительного процесса в голове проектировщика дает представление о том, что требуется для завершения этой трансформации.

Все разработчики новых методов сходятся на том, что масштабный чертеж уже не может служить основным инструментом проектирования. Это объясняется тем, что новаторская деятельность на уровне систем предполагает свободу радикального изменения не только компонентов, из которых состоит изделие, но и видов изделий, из которых складывается новая система, и организации социальной сферы, которой призвана служить новая система. Второй пункт, по которому между специалистами по методологии проектирования также существует единство мнений, заключается в том, что те формы мыслительной деятельности, которые проектировщики привыкли считать своей прерогативой, теперь должны быть объективированы, с тем, чтобы большое число людей (включая потребителей), чьи знания имеют отношение к проектированию на уровне систем, могли предложить свои идеи на ранних стадиях разработки и

участвовать в принятии принципиальных решений. Объективирование мышления проектировщика в не меньшей степени нужно и для автоматизации процесса проектирования, т.е. для ускорения с помощью цифровых ЭВМ тех этапов процесса проектирования, для которых решение мыслительных задач производится настолько осознанно, что этот процесс можно представить в виде машинной программы.

Пожалуй, самой характерной отличительной чертой книг и статей о методах проектирования является обилие всевозможных блок-схем, матриц и графов, которые в большей или меньшей степени напоминают схемы и расчеты, используемые при составлении программ для ЭВМ. Такое графическое отображение связей можно рассматривать, как попытку найти что-то более субстанциональное, чем мысль, но менее, чем масштабный чертеж, для отображения сложностей проектирования на уровне систем; оно свидетельствует о поиске средств, которые обеспечивали бы проектировщикам систем достаточно просторное "поле представлений".

Эта ключевая идея построения сетей в одно и то же время полезна и вредна. Она полезна, когда входящие в нее элементы и отношения можно соотнести с физическими сущностями, которые могут быть измерены или реализованы. Однако при этом легко забывают о реальных отношениях сети к объективному миру (существующему или возможному) и часто впадают в заблуждение, будто все, что представлено в виде сети, может быть осуществлено на практике. Самое трудное, о чем все время напоминается в ч. II, это отличить реалистичную сеть от нереалистичной и решить, какие переменные или категории должны быть включены в нее. Пока это еще представляет собой умение, которое приобретается на практике, но которому трудно или невозможно научить.

В целом процесс проектирования на уровне систем можно сравнить с поиском клада. Новая задача подобна неизведанной территории, протяженность которой неизвестна. Кладоискатель исследует ее с помощью

сети маршрутов. Эта сеть не существует до поиска, кладоискатель должен "изобрести" ее либо до того, как отправиться в путь, либо в ходе

Если последовательность процесса проектирования провести не по этапам предварительного, эскизного и технического проектирования, а по уровням (системному, архитектурному, функциональному, конструктивному), то однозначность и инвариантность используемых процедур проектирования сохраняется.

Отличие заключается в степени детализации и применяемых методах моделирования, оценки и отбора проектных решений.

Кроме того, логические схемы процессов проектирования даже для одного и того же класса объектов могут во многом различаться, причинами этому могут быть и исторически сложившийся опыт проектной организации, творческий почерк генерального конструктора, особенности конструкции и эксплуатационных характеристик проектируемого объекта.

Типовые проектные процедуры.

К типовым относят проектные процедуры, предназначенные к многократному повторению в процессе проектирования.

Среди таковых выделяют процедуры: анализа, синтеза, оптимизации. Синтез заключается в поиске конкретного представления технического решения. Анализ - в оценке технического решения с помощью аналитического или экспериментального исследования.

Оптимизация - в поиске оптимального технического решения. Соподчинение этих структур можно представить в виде: пополнения анализа, в свою очередь однократное решение задачи синтеза требует многократное выполнение задачи оптимизации.

Анализ разделяют на одновариантный и многовариантный. При одновариантном анализе решение задачи производиться для одного набора исходных данных, при многовариантном для большего числа наборов параметров.

Процедуры синтеза подразделяют на структурный и параметрический. Цель структурного синтеза является определение структуры объекта, т.е. набор элементов, входящих в (составляющих) объект и их взаимосвязи. Задача структурного синтеза заключается в поиске оптимальной или рациональной структуры (схемы) технического объекта при проектировании. При этом структура объекта может быть представлена в формализованном виде, т.е. в виде перечня элементов вместе с таблицей связей и схем соединений. Сложность решения задач структурного синтеза заключается прежде всего в наличие большого числа факторов, влияющих на разновидности, свойства и параметры синтезируемых структур.

Цель параметрического синтеза - определение наилучших значений параметров элементов при заданной структуре, которые соответствуют условию работоспособности объекта. Таким образом совокупность процедуры модификации управляемых параметров, процедуры анализа, процедуры оценки результатов анализа представляет собой параметрический синтез. Если при этом модификации управляемых параметров целенаправленны и подчинены стратегии поиска наилучшего значения критерия эффективности, то процедура параметрического синтеза является процедурой оптимизации.

Процедура оптимизации решений занимает важное место при проектировании технических объектов. В этом случае под оптимизацией понимают достижение заданных показателей проектируемого объекта при наименьших затратах или наилучших показателей объекта при ограниченных затратах имеющихся ресурсов.

Сущность оптимизации сводиться к отысканию при наложенных ограничениях таких структур и значений переменных параметров объекта, которые дают минимум (максимум) некоторой целевой функции, характеризующей комплексную эффективность проектируемого объекта.

Процесс оптимизации характеризуется дискретным выбором структуры и непрерывным поиском (детерминированным или случайным) направления измерения переменных параметров и постепенным приближением к оптимальному решению за счет количественного изменения величин переменных параметров и структуры объекта.

Уровень научно-технических знаний в конкретной отрасли обеспечивает различные возможности и границы применения ВТ для автоматизации проектирования. Чем глубже разработана теория того или иного класса объектов, тем объективно существуют большие возможности для автоматизации процесса их проектирования. Поэтому выделяют четыре уровня применения автоматизации проектирования:

Проектируемый объект может быть скомпонован из готовых элементов и блоков. Применение ВТ возможно для автоматизации процедур документирования, составления спецификаций, хранения архивов, задач компоновки объекта из готовых элементов, выбора и оценки различных вариантов и т.д.

Нет полного набора готовых элементов, но есть аналоги недостающих.

Анализ и оценка вариантов построения элементов, выбора их оптимальных параметров, компоновки и деталировки. Не существует аналогов, но известны принципы их построения. Применение ВТ для автоматизации возможно при использовании математических моделей, существующих используемым принципам, на которых отрабатываются искомые конструктивные решения.

Опираясь на результаты прикладных и фундаментальных исследований, при проектировании таких изделий ВТ применяется для моделирования различных физических процессов и явлений, управления модельными и натурными испытаниями.

Таким образом, теоретически основная функция САПР заключается в осуществлении автоматизированного проектирования объектов и их составных частей на основе применения математических и других моделей, автоматизированных процедур и средств вычислительной техники.

Классификация САПР

На этой стадии ярче всего проявляется личность проектировщика. Вообще говоря, чем более контрастна сложившаяся у индивидуума мысленная картина мира — существующего или потенциального, - тем большую нетерпимость он будет проявлять ко всем трансформациям, кроме той, которая представляется ему правильной. Вот здесь-то и может дать сбой "коллегиальное проектирование". Ставить на голосование можно только ту или иную трансформацию целиком, без "перемешивания" соперничающих вариантов. Обычно можно предложить несколько трансформаций, каждая из которых обеспечивает достижение приемлемого (хотя и каждый раз иного) результата.

Это логические iv коды типа "прозрачного ящика", которые в принципе поддаются автоматизации. Кроме того, они позволяют определить работу между помощниками, которые не обязательно должно представлять себе всю картину решен задачи и могут обойтись без непосредственного доступа ко всем даны имеющим отношение к проекту.

Основные характеристики конвертации таковы:

а) Настойчивость, жесткость мышлении методики здесь являются достоинством; стабильностью и неопределенностью надо бороться.

Дивергентный поиск можно рассматривать как проверку на устойчивость всего, что имеет отношение к решению задачи, как попытку определить, что в иерархии социальных ценностей, систем, изделий и деталей (а также в умах тех, кто будет принимать ответственные решения) подвержено изменению, а что можно считать неподвижными точками отсчета. Стабильные и нестабильные точки одинаково часто могут встречаться как на низших уровнях, соответствующих изделиям и их составным частям, так и на высших уровнях коллективных целей и индивидуальных оценочных суждений; на этой ступени нельзя ожидать появления упорядоченной картины. Проектировщик должен по возможности

воздерживаться от попыток втиснуть свои выводы в незрелую схему. Принятие решений нужно отложить до следующей стадии, когда проектировщик будет достаточно много знать обо всем, что связано со стоящей перед ним задачей, и на основе этих знаний сумеет предвидеть вероятные последствия различных способов организации данных.

Необходимо отметить, что работа на этой стадии включает в себя как логические, так и интуитивные действия и требует "больше беготни, чем размышлений в кресле". Новички в области методологии проектирования обычно впадают в одну и ту же ошибку: на этой стадии они слишком много занимаются спекулятивными размышлениями и не осознают необходимости сбора фактов прежде, чем можно будет принимать важные решения, и прежде, чем им самим станет ясно, чего они хотят. Навыками работы на этой предпроектной стадии гораздо легче овладевают лица, имеющие опыт в таких областях, как журналистика, научно-исследовательская работа, статистический анализ данных, чем люди, получившие специальную подготовку по проектным специальностям, — инженеры, архитекторы, художники-конструкторы, градостроители и пр. Проектировщикам часто приходится многому разучиваться, чтобы приобрести свободу, гибкость и широту взглядов, которые нужны do того, как будут приняты проектные

решения, и до того, как станет целесообразно приниматься за что-либо похожее на окончательную проработку конструкции.

Затраты на такого рода предпроектную деятельность легко могут выйти из-под контроля. Чтобы этого не случилось, нужно достаточно реально определить размеры убытков, к которым привел бы отказ от сбора информации. Кроме того, определенную часть связанных с поиском затрат следует направить на управление этим поиском, а не на его выполнение. Например, лучше убедиться, что информация берется из надежных и подходящих источников, чем черпать данные откуда попало в надежде, что попадется что-нибудь ценное, или просто потому, что исследователь случайно знает о существовании данного источника информации. Основной ошибкой на этой стадии является неправильная постановка вопросов. Постановку вопросов и принятие решений о том, куда обратиться за ответом и насколько грубыми или точными должны быть эти ответы, следует предоставить самым опытным и разумным специалистам, которых удастся привлечь к этой работе.

Вкратце можно сказать, что цель дивергентного поиска заключается в том, чтобы перестроить или разрушить первоначальный вариант технического задания, выявив при этом те аспекты ситуации проектирования, которые позволяют получить ценные и осуществимые изменения. Проводить дивергентный поиск — это значит также с минимальными затратами и в кратчайшие сроки приобретать новый опыт, достаточный для того, чтобы противодействовать всем ошибочным установкам, из которых вначале исходили бригада проектировщиков и ее заказчики.

5.3 ***Трансформация***— Это стадия создания принципов и концепций, пора высокого творчества, вдохновенных догадок и озарений - всего, что составляет радость творческого труда

при проектировании. Это же и самая ответственная стадия, когда совершаются крупные ошибки, когда

могут восторжествовать необузданный оптимизм или узость мышления, когда необходимы большой опыт и здравомыслие, чтобы не огорчить мир дорогостоящими и бесполезными — или даже вредными -результатами больших, но неверно направленных затрат человеческого труда. Это стадия, когда суждения о ценностях и о технических возможностях объединяются в решения, которые должны отражать реальные политические, экономические и эксплуатационные аспекты ситуации проектирования. Из всего этого возникает общая концептуальная схема проектируемого объекта, которая кажется удачной, хотя это и нельзя доказать. Как указывал Мангейм , оптимального решения достичь невозможно - можно лишь провести оптимальный поиск. Невозможно обрести полную уверенность в том, что то, что делается, в конечном итоге окажется "наилучшим". По утверждению Вира , только ретроспективно можно убедиться в том, что поиск (но не цель) оправдал себя.

Многие из методов включают в себя на разных ступенях некоторую долю трансформации. Методы, в которых трансформация — главное.

Для трансформации, которая может произойти неожиданно в любой момент, но которую нужно применять только после того, как дивергенция в значительной мере уже завершена, характерны следующие основные черты:

а) Основная цель заключается в том, чтобы на результаты дивергентного поиска наложить некоторую концептуальную схему, достаточно точную для конвергенции к единому проекту, а затем утвердить этот проект и закрепить его во всех деталях. Избранная схема должна отражать все реалии конкретной ситуации. Создание концептуальной схемы в данном случае представляет собой творческий акт преобразования сложной задачи в

простую путем изменения ее формы и принятия решения о том, что необходимо подчеркнуть, а чем можно пренебречь.

б) На этой ступени фиксируются цели, технические задания и границы задачи, выявляются важнейшие переменные, распознаются ограничения; здесь используются представляющиеся возможности и выносятся оценочные суждения.

в) На этой же ступени задача расчленяется на подзадачи, причем считается, что все подзадачи можно решать параллельно или последовательно и в значительной мере независимо друг от друга. Инструментом на этой важнейшей стадии служат специальные слова и символы, придуманные для обозначения частей задачи. Из них составляется "язык задачи", который кладется в основу дальнейшей работы.

г) Важнейшими условиями успешной трансформации являются, во-первых, свобода изменения подцелей, позволяющая избежать серьезных потерь качества, и, во-вторых, быстрота оценки возможностей и последствий реализации любой конкретной последовательности подцелей. Это второе условие почти невыполнимо, так как изменение подцелей означает переход к принципиально иному проекту. Такое изменение может вызвать фатальные задержки обратной связи от практического опыта, обеспечивающей поступление информации, необходимой для обоснованного выбора подцелей. На традиционном уровне проектирования изделий быстрая обратная связь обычно обеспечивается в значительной мере за счет опыта главного конструктора, а также за счет скорости и надежности, с которой он умеет оценить "на обороте старого конверта" различные альтернативные варианты конструкции. На уровне систем изменение подцелей требует испытаний альтернативных изделий и альтернативных деталей, поэтому здесь осуществимость проекта уже не удается прогнозировать исходя из имеющегося опыта или на основании эскиза. В этом случае основные надежды возлагаются на научную оценку. Как мы видели в гл. 4, одно

хорошо проведенное испытание или один "акт прогнозирования" уже может дать информацию о возможностях осуществления целого ряда альтернативных конструкций изделия, а это расширяет "пространство маневрирования" проектировщика при трансформации всей системы.

## Тема 14.6 Проектирование как трехступенчатый процесс

Одно из простейших и наиболее распространенных наблюдений относительно проектирования, на котором сходятся многие авторы, состоит в том, что проектирование включает в себя три основные стадии: анализ, синтез и оценку. Простыми словами эти три стадии можно определить соответственно как "расчленение задачи на части", "соединение частей по-новому" и "изучение последствий от практического внедрения нового устройства". Большинство специалистов по теории проектирования сходятся на том, что обычно эти стадии повторяются многократно, а некоторые считают, что каждый следующий цикл отличается от предыдущего большей детализацией и меньшей общностью. Три описанные ниже стадии не всегда образуют единую универсальную стратегию, состоящую из еще более дробных ступеней. Они имеют более элементарную природу - это лишь категории, которые позволяют нам обсуждать многие "открытые концы" современной теории проектирования, хотя бы на том неточном описательном уровне, выше которого мы не можем подняться при нынешнем сочетании частичного знания с частичным неведением.

Эти три ступени можно назвать дивергенцией, трансформацией и конвергенцией, причем названия эти в большей мере соответствуют новым задачам, связанным с проектированием систем, чем традиционным методам архитектурного проектирования и технического конструирования. Каким бы нелепым и бессмысленным ни казалось профессиональному проектировщику раздельное рассмотрение этих трех ступеней, оно, несомненно, является необходимой предпосылкой для внесения методологических изменений на всех стадиях и должно предшествовать их воссоединению в единый процесс, пригодный для проектирования на уровне систем.

Дивергенция- Этот термин обозначает расширение границ проектной ситуации с целью обеспечения достаточно обширного - и достаточно плодотворного — пространства для поиска решения. К этой категории относится большинство методов. Методы можно использовать как для дивергентного поиск так и для трансформации. Дивергента поиск характеризуется следующим

а) Цели неустойчивы и условны.

б) Границы задачи неустойчивы и неопределенны.

в) Оценка откладывается на будущее. Всё, что может иметь отношение к решению задачи, принимается во внимание, как бы сильно одно положение ни противоречило другому.

г) Техническое задание, полученное от заказчика, принимается за отправную точку исследований, но при этом считается, что это задание может подвергаться изменениям и развитию в ходе дивергентного поиска, а может быть, и на более поздних ступенях (однако не без согласия заказчика).

д) Задача проектировщика заключается в сознательном увеличении своей неуверенности, в освобождении от заранее заданных решений, в изменении стратегии мыслительной деятельности на основе массива данных, которые могут иметь отношение к решению задачи.

е) Одна из целей исследований на этой стадии заключается в том, чтобы изучить реакцию заказчиков, потребителей, рынка, производства и т.п. на смещение целей и границ задачи в разных направлениях и в различном объеме. Его основная цель при фиксировании маршрута заключается в том, чтобы возможно полнее использовать каждый намек, каждый источник частичных сведений, который ему удастся найти, с тем, чтобы добраться до клада, не потратив всю жизнь на его отыскание. Проектирование, как и прокладка маршрута, было бы "прямолинейным" процессом, если бы нам с

самого начала не приходилось иметь дело с полными и ненадежными данными и их аналогия, однако, перестает быть как только мы переходим к рассмотрению природы обследуемого пространства.

Есть ли какая-нибудь связь между интуитивными методами "черного ящика" с одной стороны, и логическими методами "прозрачного ящика" — с другой. В связи с этим возникает также вопрос, следует ли множество методов считать альтернативными способами проектирования или отдельными элементами, которые можно объединить в единой стратегии проектирования. На оба эти вопроса можно дать простой ответ: ни один из предложенных до сих пор методов проектирования не является столь законченным каким он кажется на первый взгляд, и при решении любой задачи проектирования необходимо определенное сочетание логики и интуиции. Пути такого сочетания интуитивного с рациональным не установлены; пожалуй, их и невозможно установить в общем виде, в отрыве о конкретной задачи и конкретного человека, так как они зависят от того, какое количество объективной информации имеется в распоряжение проектировщика, а также от его квалификации и опыта. Некоторые мысли, которые могут оказаться полезными при поиске способов объединения отдельных методов проектирования в единую стратегию. Ряд других рекомендаций содержится, где разбирается вопрос о выборе стратегии проектирования. Теперь, когда мы установили, что бригада проектировщиков должна сама разработать свою стратегию, используя при этом старые и новые методы в тех сочетаниях, которые кажутся уместными в данной конкретной ситуации, остается выяснить, как это осуществляется. Существует ли какая-нибудь общая теория или свод правил, которые помогли бы в отборе и объединении методов проектирования? Ответ здесь простой: нет, не существует. Пока что мы слишком мало знаем о поведении проектировщиков и о решении задач проектирования, чтобы пытаться дать рекомендации, которые можно было бы проверить путем наблюдений и

экспериментов. Пока мы можем заниматься лишь классификацией и общими рассуждениями в надежде, что это позволит нам потом лучше понять, почему так трудно разработать и объяснить эффективную стратегию проектирования, в которой сочетались бы логические и интуитивные методы.

Следует отметить, что не все разделяют высказанное мнение о невозможности в наше время рационально объяснить процесс проектирования. Арчер в своей диссертации о структуре процесса проектирования дает единую логическую картину, которая поддается объяснению во всех ее точках, коль скоро ее главные герои изложили всю сумму

# РАЗДЕЛ 15 ПОНЯТИЕ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ»

Для начала рассмотрим, что в себя включает понятие «проектирование технологических объектов». Важнейшее место занимает разработка раздела «Технологические решения», которая подразумевает выполнение инженерных расчётов, составление технологической схемы, расстановку оборудования с трубопроводной обвязкой и размещение крепёжных элементов и опорных конструкций. На определённом этапе разработки данного раздела технологами-проектировщиками выдаются задания на разработку остальных разделов проекта, например, «Архитектурно-строительный», «Отопление, вентиляция и кондиционирование», «Водопровод и канализация». Необходимым условием получения качественной проектной документации по всем вышеперечисленным разделам является обеспечение совместной работы специалистов. В этом контексте неоспоримое значение приобретает создание единой трёхмерной модели объекта, на основании которой в дальнейшем выпускаются чертежи видов, изометрические схемы, ведомости и спецификации.

Существующие решения для технологического проектирования зачастую достаточно сложны для быстрого перехода организации на 3D-моделирование, ориентированы на строительство крупных объектов «с нуля», к тому же дорогостоящи. Однако большинство работ связано с небольшими объёмами проектирования, например, проекты обустройства нефтегазовых месторождений. Не стоит забывать и о реконструкции, расширении существующих объектов. Эти проекты, как правило, выполняются небольшими группами в сжатые сроки и при ограниченном бюджете.

И здесь возникает необходимость внедрения САПР, оптимального с точки зрения соотношения «цена/функциональность». Как известно, основными требованиями при выборе программного обеспечения являются:

- гарантии, которые даёт известный, зарекомендовавший себя производитель;
- возможность быстрого и «безболезненного» перехода пользователей на данный продукт;
- наличие линейки продуктов для комплексного решения задач проектирования и возможность интеграции с другими приложениями;
- обеспечение технологии совместной работы;
- сокращение рутинных операций, которыми сопровождается выполнение проектов;
- возможность получения проектной документации;
- наличие локализованных баз элементов и оборудования;
- возможность доработки инструментов и баз под требования конкретных предприятий;
- наличие системы обучения и технической поддержки.

## Тема 15.1 Список требований

При разработке и проектировании ТО всегда имеет место определенный список требований, которым ТО должен удовлетворять. Здесь речь идет о необходимом и достаточном наборе требований, при выполнении которых изделие будет иметь допустимую (ожидаемую) работоспособность, эффективность, ремонтопригодность и т. п. Если в таком наборе не будет учтено и выполнено хотя бы одно требование, то в созданном ТО проявится хотя бы один существенный недостаток или он будет неработоспособен. Отсюда следует важность необходимого и достаточного списка требований, который в инженерных разработках составляет ядро технического задания.

Следует отметить, что в процессе разработки и проектирования ТО задают и уточняют несколько иерархически взаимосвязанных списков требований, которые соответствуют определенным этапам разработки. При этом каждый последующий список больше предыдущего и включает его в себя.

В общем случае представляется естественным иерархию указанных списков, поставить в соответствие с выделенными в п. 4 задачами выбора проектно-конструкторских решений. Дадим краткую характеристику содержания списков требований для каждого типа задач (этапа разработки).

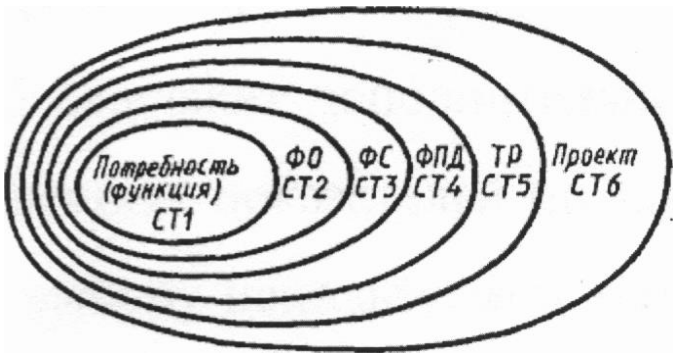



Рисунок 15.1 - Иерархия списков требований (СП)

Список требований 1 (СТ 1) включает функциональные требования, т. е. перечень количественных показателей производимого действия, количественных показателей объекта (предмета обработки), на который направлено

действие ТО, количественных показателей особых условий и ограничений, при которых выполняется действие. К таковым в первую очередь относятся надежность, вид и показатели используемой энергии, особые воздействия окружающей среды и т. п.

СТ 2 может включать дополнительно перечень потоков веществ, энергии, сигналов на входе и выходе ТО или перечень требований и условий к выбору таких потоков; значения физических величин, характеризующих потоки; условия и ограничения на потоки, вызванные взаимодействием ТО с надсистемой и окружающей средой; условия и ограничения на потоки, связанные с их преобразованием внутри ТО. Уточненный список требований в основном зависит от выбранных потоков на входе ТО. СТ 3 включает дополнительно наборы требований, аналогичные СТ 1, СТ 2, но относящиеся к функциональным элементам,-из которых состоит ТО. Уточненный СТ 3 зависит от принятой функциональной структуры.

СТ 4, в дополнение к СТ 1 - СТ 3, составляют для, каждого выбранного ФПД отдельно. В СТ 4 входят условия и ограничения, накладываемые на выбор основных материалов, используемых при реализации физико-технических эффектов, а также условия и ограничения, вызванные сопутствующими (дополнительными) воздействиями реализуемых эффектов как на элементы ТО, так и на окружающую среду. Кроме того, СТ 4 может еще включать ограничения по энергопотреблению, обрабатываемым материалам или информации и т. д.

СТ 5 содержит дополнительно наборы требований и соответствующих количественных показателей по массе, форме, габаритным размерам и компоновке; выбору используемых материалов и комплектующих изделий; способам и средствам соединения и связи элементов между собой; управлению и регулированию; безопасности эксплуатации; патентоспособности; лимитной цене и т. д. СТ 5 в большой мере зависит от ТР.

СТ 6 включает набор требований по выбору оптимальных параметров ТО, запасам прочности, устойчивости, надежности, серийности изготавли-

ваемого ТО, используемому технологическому оборудованию, взаимозаменяемости, стандартизации и унификации, условиям эксплуатации, транспортирования и хранения, сроку окупаемости на разработку и освоение и т. д.

Для техники в целом также существует список требований. Попытку составления такого списка в 1950 г. предпринимал Ф. Кессельринг, который составил список, включающий более 700 требований. Даже для того времени это был неполный список, а за прошедшее время число требований в полном списке увеличилось в несколько раз. Составление полного списка требований для техники в целом является важной задачей. Однако прежде чем приступить к такой работе, необходимы:

разработка грамматики и синтаксиса описания требований и выделение их основных типов по форме описания (как это сделано в первом приближении для описания технических функций);

разработка систематики и классификация требований по их содержанию. От решения этих задач в большой мере зависит создание эффективного искусственного интеллекта для автоматизации начальных стадий проектирования.

## Тема 15.2 Критерии развития, показатели качества и список недостатков технического объекта

Среди параметров и показателей, характеризующих любой ТО, всегда имеются один или несколько таких, которые на протяжении длительного времени (иногда всей истории существования рассматриваемого класса ТО) имеют тенденцию монотонного изменения или тенденцию поддержания на определенном уровне при достижении своего предела. Эти показатели всеми осознаются как мера совершенства и прогрессивности, и они оказывают очень сильное влияние на развитие отдельных классов ТО и техники в целом. Такие параметры и показатели будем далее называть критериями развития ТО. К таковым можно отнести степень механизации какого-либо технологического процесса, удельную материалоемкость или энергоемкость ТО, внешний вид ТО и т. д.

Наряду с критериями развития, существуют еще показатели качества (критерии качества) ТО, к которым в первую очередь относятся критерии развития и некоторые параметры, определенное изменение которых может приводить к улучшению качества и эффективности этого ТО. Кроме того, показатель качества позволяет выбрать из двух альтернативных вариантов ТО или их описаний лучший вариант при равенстве или эквивалентности других показателей.

# РАЗДЕЛ 16 СХЕМА РЕШЕНИЯ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Основным технологическим средством автоматизации проектирования машиностроения является цифровая ЭВМ, оперирующая с информацией, представленной в цифровой форме и физически существующей в виде различных состояний их элементов. Поэтому возникает необходимость в разработке методов превращения разнообразной конструкторской документации в цифровую форму и представлении всех задач и элементов процесса проектирования только в виде операций над числами и логическими выражениями с доведением их до алгоритмов и машинных программ. Но при автоматизации проектно-конструкторского процесса следует постоянно помнить, что ЭВМ - это вспомогательное средство, а не замена конструктора. Наиболее эффективно вычислительная техника может быть использована, когда имеются математические модели, описывающие объект проектирования и имитирующие его функционирование в заданной окружающей среде.

Для действительного эффективного использования автоматизированных методов и средств проектирования необходимо учитывать, что любой эксперт, в том числе и генеральный конструктор, обладает вполне определенными и, к сожалению, весьма ограниченными физиологическими возможностями обработки информации. Следовательно, необходима декомпозиция проблемы. Последнее означает, что для автоматизации требуется система процедур, позволяющая конструктору на основе ограниченной информации вести направленный поиск оптимальных параметров новых технических средств.

Основная проблема автоматизации проектирования в настоящее время связана не только и не столько с вопросами совершенствования средств вычислительной техники, сколько с тем обстоятельством, что в науке о конструировании новых технических средств не выявлены аналитические и логи-

ческие зависимости, связывающие назначение технических средств с их структурой и характеристиками. Например, в технологической науке отсутствуют формализованные взаимосвязи между параметрами обрабатываемой детали, структурой и характеристиками технологического процесса.

Основное внимание при традиционном проектировании уделялось задачам анализ функционирования технических средств с целью выявить влияние различных факторов на точность, производительность и экономическую эффективность их работы. В то же время методы синтеза технических средств на основе их назначения и характеристик внешней среды, в условиях которой будет функционировать новое техническое средство, исследованы еще недостаточно. Необходимо создание теории проектирования, предполагающей переход от традиционных задач анализа и эмпирических классификаций к проблематике задач синтеза технических систем.

Проектирование выступает как комплексная проблема, в которой в сложной взаимосвязи переплетаются задачи синтеза, моделирования, анализа, оценки, оптимизации и отбора альтернатив. Для решения таких сложных задач необходимо применение методологии системного подхода. При использовании методологии системного подхода для формализации процесса проектирования следует исходить из того, что специфика сложных объектов и процессов не исчерпывается особенностями составляющих его частей и элементов, а заключена в характере связей и отношений между ними. Расширение исходной базы за счет таких понятий, как, например, структура, функция, организация, связь, отношение, обеспечивает определенные преимущества системному подходу перед традиционными методами исследований и позволяет создавать более адекватные действительности модели сложных объектов и процессов.

Исходя из основных положений системного анализа, последовательность решения многовариантных проектных задач с помощью средств вычислительной техники можно представить состоящей из ряда этапов.

Определяющим этапом проектирования является постановка общей задачи, при которой формулируется служебное назначение (функция) технической системы и вырабатывается концепция проекта на основе анализа системной модели будущего технического средства как элемента подсистемы более высокого уровня иерархии. Адекватное описание такой модели возможно только при всестороннем рассмотрении проблемы, для решения которой создается новое техническое средство. Например, для решения проблемы комплексной механизации и автоматизации механосборочного производства необходимо создание целого ряда машин и механизмов, в том числе металлорежущих станков, сборочных агрегатов, транспортных средств, загрузочных устройств, информационно-измерительных систем, систем инструментального обеспечения и др. Следовательно, системная модель технологической машины, например, должна отражать взаимосвязи объекта не только с подобными машинами по структуре технологического процесса, но и с загрузочными, транспортными, измерительными и другими элементами всего производственного комплекса.

На следующем этапе необходимо выполнить анализ общей задачи проектирования. Здесь на основе рассмотрения системной модели будущего технического средства выявляются связи объекта проектирования с окружающей средой, определяются компоненты проектной задачи, ограничения и критерии выбора рациональных вариантов. Результаты данного этапа служат для поиска путей дальнейшего хода решения проектных задач. Если удается использовать имеющееся техническое средство, то конструкторский процесс не выполняется. Найденные аналоги могут лечь в основу будущей конструкции. Но может случиться и так, что в процессе анализа задачи проектиро-

вания выявится невозможность использования существующих технических возможностей для решения проблемы. Тогда постановка задачи должна быть изменена, например, разбита на подзадачи.

При проведении конструкторских работ первой операцией является функциональный анализ объекта проектирования для создания внутренней многоуровневой структуры объекта проектирования. Результаты этого этана необходимы в первую очередь для объективного разбиения задачи проектирования на части и определения стратегии решения общей задачи.

Каждый элемент структуры объекта проектирования представляется в виде системной модели; его служебное назначение описывается как функция элемента многоуровневой системы. Затем проводится исследование объекта проектирования, т. о. выявляются и описываются внешние и внутренние связи его системной модели. При этом требуется проведение целого ряда научно-исследовательских работ, под которыми подразумевается не только анализ литературных источников, но и эксперименты на натурных образцах.

Весьма важным является следующий этап - формализация объекта проектирования. От полноты формального описания объекта зависит выбор метода решения задачи, а следовательно, определяется возможность применения при проектировании средств вычислительной техники. Если задача не формализована, то конструктор в дальнейшем пользуется одним из эвристических методов решения задачи. Когда задача формализована полностью, т.е. имеется полная математическая модель объекта проектирования, ее можно решать с помощью ЭВМ автоматически. Если же задача формализована частично, т.е. не все связи системной модели удалось выразить в виде аналитических и логических зависимостей, то разрабатывается так называемый диалоговый метод решения, включающий вариант математической модели объекта и сценарий взаимодействия конструктора и ЭВМ.

После выбора одного из алгоритмических методов решения весь процесс проектирования можно формализовать и разработать алгоритмы автоматизированного конструирования.

Перед программированием больших проектно-конструкторских задач необходима разработка информационного обеспечения автоматизированного проектирования, которое должно снабжать все проектные процедуры требуемой постоянной и переменной информацией для безостановочной работы программ ЭВМ. После программирования проектной задачи выбираются необходимые технические средства, на которых и решается задача. Результаты проектно-конструкторского процесса документируются в виде текстовых и графических материалов.

Как видно из рассмотрения представленной на рис.1 схемы, разработка процесса автоматизированного проектирования требует тесного сотрудничества ученых и инженеров разных специальностей - конструкторов, математиков, специалистов по автоматизированной обработке информации, программистов, электронщиков и организаторов производства.

Следовательно, для наиболее полного и эффективного использования вычислительной техники в проектно-конструкторской деятельности инженеров необходимы глубокие знания разработчиков по вопросам теории проектирования, конструирования заданного семейства машин, математического моделирования, использования вычислительных методов решения проектных задач, теории автоматизированной переработки информации и применения современных вычислительных средств.

## Тема 16. 1 Закон прогрессивной эволюции техники

Формулировка гипотезы о законе. Действие закона прогрессивной эволюции в мире техники аналогично действию закона естественного отбора Дарвина ~~в~~ живой природе. Он отвечает на вопросы, почему происходит переход от предшествующего поколения ТО к следующему улучшенному поколению; при каких условиях, когда и какие структурные изменения происходят при переходе от поколения к поколению.

Гипотеза о законе прогрессивной эволюции техники имеет следующую формулировку:

В ТО с одинаковой функцией переход от поколения к поколению вызван устранением выявленного главного дефекта (дефектов), связанного, как правило, с улучшением критериев развития, и происходит при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности следующими наиболее вероятными путями иерархического исчерпания возможностей конструкции:

а) при неизменном физическом принципе действия и техническом решении улучшаются параметры ТО до приближения к глобальному экстремуму по значениям параметров;

б) после исчерпания возможностей цикла а) происходит переход к более рациональному техническому решению (структуре), после чего развитие опять идет по циклу а). Циклы а) и б) повторяются до приближения к глобальному экстремуму по структуре для данного принципа действия. При этом значения критериев развития, как правило, изменяются в соответствии с функцией вида

$$\boldsymbol{K = L/(a + e^{be-\beta t})}(1)$$

в) после исчерпания возможностей циклов а) и б) происходит переход к более рациональному физическому принципу действия, после чего развитие опять идет по циклам а) и б). Циклы а) — в) повторяются до приближения к

глобальному экстремуму по принципу действия для множества известных физических эффектов.

При этом в каждом случае перехода от поколения к поколению в соответствии с частными закономерностями происходят изменения конструкции, корреляционно связанные с характером дефекта у предшествующего поколения, а из всех возможных изменений конструкции реализуется в первую очередь то, которое дает необходимое или существенное устранение дефекта при минимальных интеллектуальных и производственных затратах. В формуле (1) приняты следующие обозначений L, a, b, β— коэффициенты, определяемые по статистическим данным; t — время.

Используемое в формулировке закона понятие «научно-технический уровень» имеет отношение к стране или региону и к определенному моменту времени. Оно включает используемые ТО, технологии, источники энергии, материалы и вещества, информацию об используемых в прошлые времена, а также о новых (пока не реализованных) ТО, технологиях, источниках энергии, материалах и веществах; информацию о физико-технических эффектах, которые используются или могут быть использованы в технике и т. п. Социально-экономическая целесообразность создания и использования ТО указывает на то, что, во-первых, изготовление и практическое использование ТО экономически возможно и выгодно, во-вторых, не ухудшает антропологических критериев развития техники.

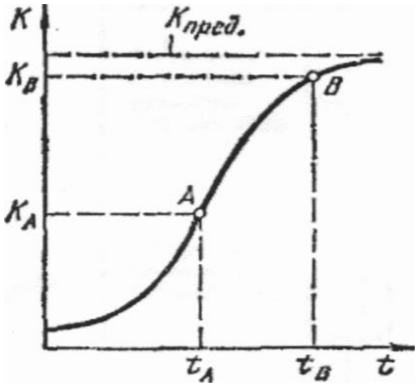



Рисунок 16.1 - Закономерность изменения значений критерия развития при неизменном принципе действия

Таким образом, суть закона состоит в том, что в ТО с одинаковой функцией каждый переход от поколения к поколению вызван устранением возникшего главного дефекта (дефектов) связанного с улучшением какого-либо критерия (показателя) развития при наличии определенных технико-экономических условий: Если же рассматривать все переходы от поколения к поколению, т. е. всю историю конструктивной эволюции определенного класса техники, то можно наблюдать следующие закономерности иерархического исчерпания возможностей конструкторско-технологических решений на трех уровнях . Сначала на 1-м уровне улучшаются параметры используемого ТР. Когда изменение параметров мало что дает, изменения осуществляют на 2-м уровне путем перехода к более эффективному ТР без изменения физического принципа действия (ПД). Затем, при исчерпании параметров, переходят на новое более прогрессивное ТР. Указанные циклы на 1-м - 2-м уровнях происходят до тех пор, пока в рамках используемого ПД уже не находят показателей ТР, обеспечивающих улучшение интересующих показателей. После этого наступает революционное изменение на 3-м уровне - переход на новый, более прогрессивный ПД и т. д. При этом в каждом случае перехода от поколения к поколению действуют весьма определенные частные закономерности изменения конструкций, которые с большой вероятностью конкретизируют направление и характер изменения ТО в следующем поколении.

Методология системного иерархического выбора глобально оптимальных конструкторско-технологических решений. Самое важное приложение закона прогрессивной эволюции заключается в построении на его основе методологии системного иерархического выбора глобально оптимальных конструкторско-технологических решений. Эта методология основывается на сознательном использовании закона в управлении прогрессивной эволюции ТО в целях ее ускорения. При этом решается иерархическая последовательность задач поискового проектирования и

конструирования, связанных с разработкой новых изделий или технологического оборудования.

На первом этапе для заданной функции (требований и условий) выбирается наиболее рациональная функциональная структура разрабатываемого прибора, машины или технологического комплекса; на втором этапе для выбранной структуры определяется наиболее эффективный физический принцип действия; на третьем этапе осуществляют поиск наиболее рационального технического решения для выбранного принципа действия; на четвертом этапе - моделирование принятого технического решения и оптимизация его параметров.

Методология системного иерархического выбора «запрещает» останавливаться на частных улучшенных решениях, как это часто делается на практике. Она ориентирована на изучение и использование всех возможных путей улучшения. Если при этом решение каждой задачи будет выполняться с достаточно полным информационным обеспечением и будет находиться глобально-оптимальное решение, то можно иметь высокую гарантию, что разработанное изделие будет на уровне лучших мировых достижений.

Следует иметь в виду, что в законе прогрессивной эволюции иерархическое исчерпание конструкции не действует формально «пока не будут достигнуты глобально оптимальные параметры, не может произойти переход к новому техническому решению, или пока не будут исчерпаны возможности наилучшего ТО (в рамках определенного принципа действия), не может произойти переход к новому принципу действия». Закономерность иерархического исчерпания конструкции действует, как указано в формулировке закона, при соблюдении следующего условия: если при наличии необходимого научно-технического потенциала переход к новому техническому решению или принципу действия обеспечивает получение дополнительной эффективности, существенно превышающей дополнительные интеллектуальные и производственные затраты, то может произойти скачок к новому техниче-

скому решению или принципу действия без исчерпания возможностей предыдущего технического решения или принципа действия.

Для некоторых классов ТО в будущем, по-видимому, станут более частыми случаи указанных скачков к новым техническим решениям или принципу действия без исчерпания возможностей предыдущих. Этому способствует создание мощных систем автоматизированного проектирования, включающих подсистемы поискового конструирования с выбором глобально оптимальных решений. При этом циклы а); а) – б); а) – б) – в); будут происходить в основном в ЭВМ, а автоматизированные системы научных исследований и гибкие автоматизированные производства позволяют без чрезмерных затрат проводить доводку и изготовление нового поколения ТО, значительно отличающегося от предыдущего. В этих случаях, можно сказать, закон будет использоваться для ускорения развития техники.

Исследования позволяют, во-первых, выделить наиболее актуальные и важные для следующего поколения критерии развития (показатели качества, потребительские свойства), под влиянием которых в основном произойдут изменения в конструкции или технологическом процессе, а во-вторых, определить частные закономерности изменения конструкции ТО, имеющие решающее влияние в последующей эволюции. Эти закономерности, корреляционно связанные с выделенными критериями развития, дают важную информацию о наиболее вероятном направлении и характере изменения ТО в следующем поколении.

Отметим, что частные закономерности изменения конструкции лежат в основе метода эвристических приемов. Поэтому при разработке приемов в первую очередь следует включать частные закономерности изменения конструкции, выделенные при проведении исследований по конструктивной эволюции интересующего класса ТО и аналогичных родственных классов.

Прогнозирование изменения значений критериев развития и другие исследования. В рамках закона прогрессивной эволюции действует очень важная закономерность изменения критериев развития на протяжении существования одного и того же физического принципа действия. Прогнозирование с помощью S-функции позволяет установить, насколько недоиспользованы возможности применяемого принципа действия. Если эти возможности имеют значительные резервы (случай А), то на основе прогнозирования можно сформулировать реальное задание на улучшение интересующих главных показателей. Если же прогноз покажет, что возможности принципа действия практически исчерпаны (случай В), то будет сделан обоснованный вывод о необходимости перехода на новый физический принцип действия. В связи с этим возникает задание на поиск и разработку более перспективного принципа действия.

Особо хотелось бы указать на необходимости и целесообразность исследований связанна с осмысливанием и привязкой гипотезы о законе прогрессивней эволюции к конкретному классу ТО, по которому ведется разработка новых поколений. Уточненная объектно-ориентированная формулировка закона позволит конкретизировать и достаточно полно выделить критерии развития, главные дефекты, частные закономерности изменения конструкции и т. п.

Закон прогрессивной эволюции представляется полезным исполосовать на начальных стадиях проектирований новых поколений ТО, при выполнении работ по анализу и осмысливанию истории техники, прогнозированию развития техники.

## Тема 16.2 Функционально- стоимостный анализ технических объектов

Начиная с конца 60-х годов в инженерной практике технически развитых стран стал быстро распространяться новый подход снижения стоимости (затрат) и повышения качества продукции. Этот подход назвали функционально-стоимостным анализом (ФСА). Многочисленная статистика разных стран показывает, что ФСА позволяет на одну денежную единицу затрат получить до 20 единиц экономии.

Основная суть ФСА заключается в следующем:

- применение системного подхода при выявлении по возможности всех излишних затрат (трудоемкость, расход материалов и энергии и т. д.) в существующих или проектируемых изделиях;
- систематическое применение методов инженерного творчества при поиске новых ТР с пониженными затратами;
- четкая организация работ, исходящая от руководства предприятием и направленная на проведение ФСА и реализацию его предложений.

При проведении ФСА выполняют следующую работу:

- выявляют и определяют функции (назначение) элементов изделия;
- оценивают стоимость выполнения каждой функции (в виде расхода материала, энергии, денежных затрат и т. д.);
- выделяют «лишние» (ненужные) функции и функции с чрезмерными затратами на реализацию;
- исключают элементы с ненужными функциями и выбирают наиболее рациональные ТР элементов с чрезмерными затратами;
- реализуют на практике результаты ФСА

Причину возникновения ФСА можно пояснить следующим образом:

Решение задач, связанных со снижением себестоимости предполагает возможность применения двух подходов: предметного и функционального.

Традиционным, применяемым в течение многих десятилетий, является предметный подход. Специалист, занимающийся проблемой снижения себестоимости изделия, формулирует задачу примерно следующим образом: как снизить затраты на данное изделие?..

При функциональном подходе специалист наоборот полностью абстрагируется от реальной конструкции анализируемой системы и сосредоточивает внимание на ее функциях. При этом изменяется и направление поиска путей снижения себестоимости продукции. Четко определив функции анализируемого объекта, их количественных характеристик, специалист по другому формулирует задачу: необходимы ли эти функции? Если да, то необходимы ли предусмотренные количественные характеристики? Каким наиболее экономичным путем можно достичь выполнения функций?..

Важность и целесообразность функционального подхода обусловливается тем, что потребителя в конечном итоге интересуют не предметы и вещи как таковые, а те действия, которые он может производить с их помощью, т.е. их функции. Например, его интересует не электродвигатель, холодильник, трансформатор, лампочка и т.д., а соответствующие выполняемые ими функции: вращение вала, сохранение продуктов, изменение напряжения, излучение света и т.д.

Область применения ФСА весьма широка, поскольку этот подход имеет смысл использовать в любой сфере человеческой деятельности, в которой требуется снизить какие-либо затраты. ФСА является очень сильным средством интенсификации экономики. Учитывая опыт успешного применения ФСА, его в первую очередь рекомендуется использовать при решении следующих задач:

- проектирование новых изделий и технологий;
- модернизация освоенных в производстве изделий;
- реконструкция предприятий;
- снижение затрат основного и вспомогательного производства;

- снижение затрат сырья, материалов, топлива и энергии;
- снижение трудоемкости и экономия людских ресурсов.

В нашей стране наибольший опыт по освоению и использованию ФСА имеет Министерство, электротехнической промышленности СССР, которое начиная с 1977 г. определило организационные основы этой системы:

# РАЗДЕЛ 17 СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ

## **Тема 17.1** AutoCAD Plant 3D v2010

Программный пакет для дизайна, моделирования и документирования процесса прокладки трубопроводов. Построенный на платформе программного обеспечения AutoCAD, AutoCAD Plant 3D предоставляет все необходимые современные инструменты для 3D-проектирования дизайнерам и инженерам.

AutoCAD Plant 3D 2010 предназначен для автоматизации проектирования промышленных объектов с разветвленной сетью трубопроводов и является превосходным и доступным по цене решением в своей области. Специальная возможность Spec-driven Design, в комплекте с большим каталогом стандартных частей, помогает упорядочению размещения трубопроводов, оборудования и вспомогательных инфраструктур. Кроме того, не менее важная функция AutoCAD® P&ID интегрирована непосредственно в пакет AutoCAD 3D.

Прокладывание труб выполняется одним щелчком мышки. Чертить трубы можно при помощи линий под любым углом и в любом направлении, как в двухмерном, так и в трехмерном режиме. После этого можно использовать встроенный трассировщик, который автоматически расставит и соединит по этой линии трубы и отводы. Компоненты типа «приварные в стык», «в раструб» или «с резьбовым соединением» добавляются быстро и легко. Трассировщик поддерживает работу с такими опциями, как наклоны, изменение уровня и т. д. Программа располагает всеми необходимыми инструментами для быстрого и рационального проектирования трубопроводных систем, насосов и др. оборудования. AutoCAD Plant 3D 2010 представляет собой интегрированный набор CAD-

программ. Основанная на AutoCAD и обладающая дружественным интерфейсом, эта система является программным решением нового поколения.

AutoCAD Plant 3D 2010 представляет собой интегрированный набор CAD-программ. Основанная на AutoCAD и обладающая дружественным интерфейсом, эта система является программным решением нового поколения.

**Основные возможности программы AutoCAD Plant 3D 2010:**

- возможность создания чертежей и хранения проектной информации в базе данных;

- расширенные уровни автоматизации;

- простые в использовании чертежей инструменты;

Кроме того, впервые в отрасли реализована возможность взаимодействия CAD-системы и системы расчета и анализа напряжений. Увеличивается точность расчетов и улучшается качество проектных решений, как для проектировщиков, так и для инженеров по расчету прочности. Эта система используется в проектах самых разных масштабов, где необходимо использовать двумерные ортогональное, изометрическое или трёхмерное моделирование.

AutoCAD Plant 3D 2010 предоставляет лучшую и наиболее простую технологию создания изометрических чертежей как ручным, так и автоматическим способом. Программа генерирует изометрию с удивительной легкостью, вне зависимости от того, выбраны ли компоненты при помощи нумерации линий из базы данных или выбор компонентов сделан из чертежа.

Проекты разработанные в AutoCAD Plant 3D 2010, совместимы с Autodesk® Navisworks®, Что позволяет разрабатывать качественные продукты для Design Review, визуализировать конечный результат и своевременно обнаруживать конфликты в оборудование.

**Чем же AutoCAD Plant 3D от Autodesk отличается от аналогов, каковы его конкурентные преимущества?**

Как заявляет сам производитель, Intergraph, Bentley Systems и AVEVA направлены на элитный рынок, Autodesk конкурирует с ними за счет более низкой цены продукта. Созданный как для проектирования, так и для выполнения модернизации и моделирования существующих технологических объектов, AutoCAD Plant 3D делает доступным переход на трёхмерное проектирование для организаций любых размеров.

Кроме того, данный продукт построен на самой распространённой в России платформе AutoCAD, файлы имеют формат DWG, поэтому специалисты могут с лёгкостью освоить функционал программы и обмениваться проектной информацией со смежными группами разработчиков. С уверенностью можно сказать, что даже если руководство организации недостаточно серьёзно подходит к внедрению трёхмерной САПР, сотрудникам не составит труда обучиться Plant 3D.

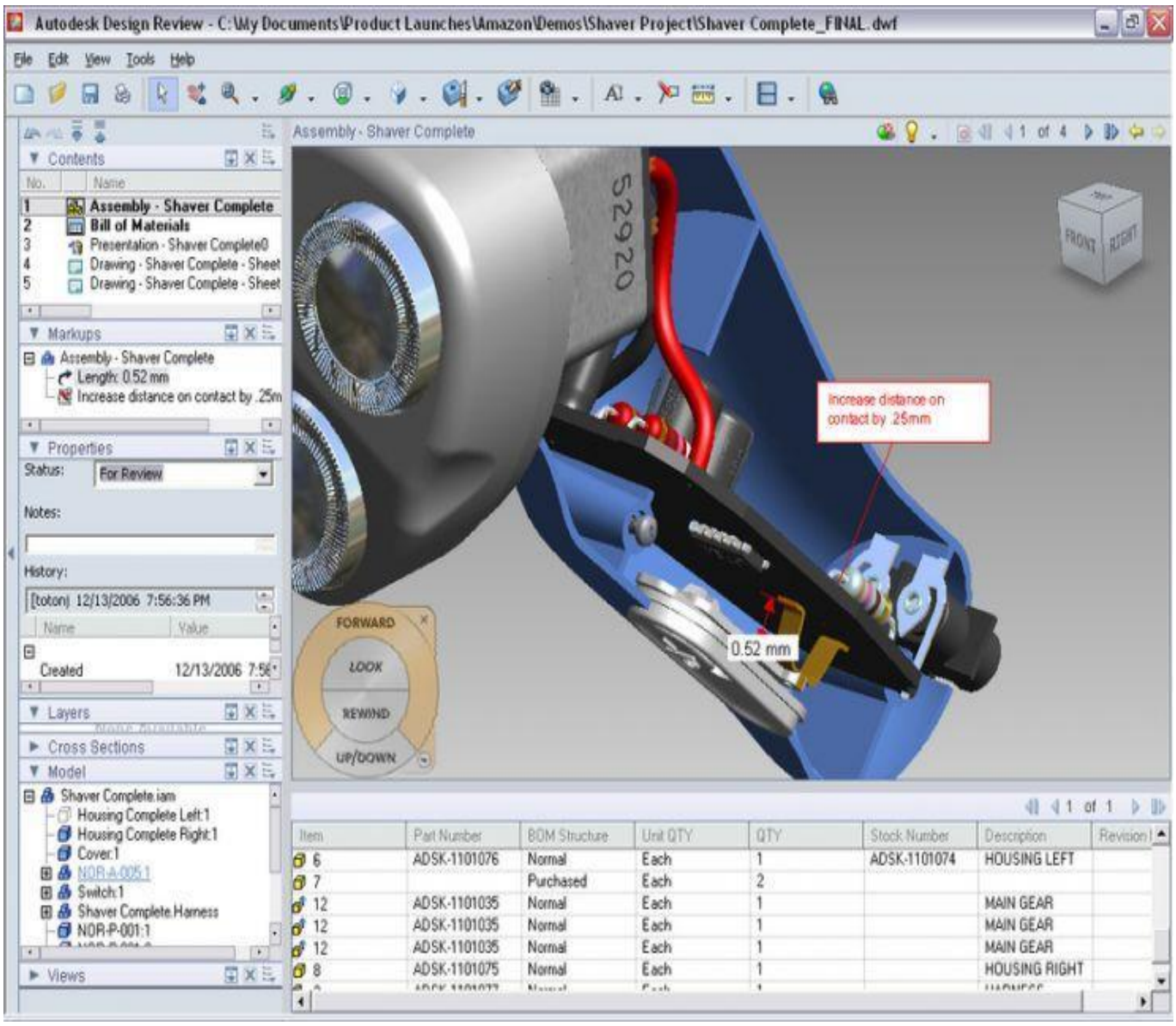



Рисунок 17.1-Пример построения

## Тема 17.2 Bentley AutoPLANT

В нефтяной, газовой, химической и пищевой промышленности успешно используется программное обеспечение Bentley AutoPLANT. Эта Plant Design-система, также работающая на трёхмерном графическом ядре AutoCAD, включает в себя мощный набор инструментов для проектирования технологических объектов. Комплекс AutoPLANT V8i объединяет программные средства для создания трёхмерной информационной модели объекта, для разработки и выпуска схем, чертежей и отчётной документации.

Итак, и Bentley AutoPLANT, и AutoCAD Plant 3D позволяют выполнять следующие функции:

- управление проектными документами;
- настройка проекта;
- создание схемы технологических процессов;
- моделирование и размещение оборудования;
- трассировка трубопроводов;
- расстановка трубопроводных опор;
- создание модели металлоконструкций;
- получение изометрических схем;
- формирование 2D-чертежей;
- получение отчётов и ведомостей;
- работа с проектными данными;
- работа с базами элементов;
- организация совместной работы сотрудников проектных подразделений.

Поддержка версий AutoCAD- AutoCAD 2010

Доступ к основным командам и инструментам- Доступ к командам предоставляется с помощью пунктов меню, в которых команды сгруппированы в соответствии с назначением модуля (Трубопроводы, Оборудование, Вентиляция и т. п.) и панелей инструментов

## Трассировка трубопроводов

Размещение объектов в модуле Bentley AutoPLANT Piping – процесс, в котором большинство типовых операций автоматизировано. Вне зависимости от места и способа прокладки трубопроводов механизм автоматизированного размещения и ориентирования компонентов помогает ускорить процесс проектирования. Большинство элементов вставляются из миникаталогов (спецификаций), в которых заложена атрибутивная информация, необходимая для получения требуемых отчетов.

## Тема 17.3 Aveva

Решения AVEVA Plant охватывают широкий диапазон проектных работ, сводя к минимуму трудозатраты на объединение модели на едином информационном поле. Таким образом, проект изначально создается в рамках единой платформы. Однако это не исключает возможности импорта модели через распространенные форматы, например в случае модернизации объекта, созданного ранее в сторонних САПРприложениях, или работы с субподрядчиками, выполняющими проект в других программных продуктах.

Рассмотрим общую схему работы проектного института с применением программных продуктов AVEVA:

Разработка схем осуществляется в следующих приложениях: AVEVA Diagrams, AVEVA Electrical и AVEVA Instrumentation.

AVEVA Diagrams — программный модуль, позволяющий разрабатывать технологические схемы, схемы ОВиК и однолинейные схемы электрики. Объекты, созданные на схеме, могут быть ассоциативно связаны с трехмерной моделью. Последовательность применения AVEVA Diagrams соответствует реальному процессу проектирования — схемы создаются с указанием характерных параметров, а выбор конкретных элементов из каталогов происходит на стадии рабочего проектирования. С помощью инструмента Schematic 3D Integrator трехмерная модель создается непосредственно по данным схемы, а все соответствия отслеживаются.

AVEVA Electrical — многофункциональное приложение для проектирования электрической части промышленных объектов. Целостность данных обеспечивается благодаря строгому процессу проверки, автоматическим перекрестным ссылкам и контролю изменений. Приложение позволяет выпускать различные виды документации по электрической части:

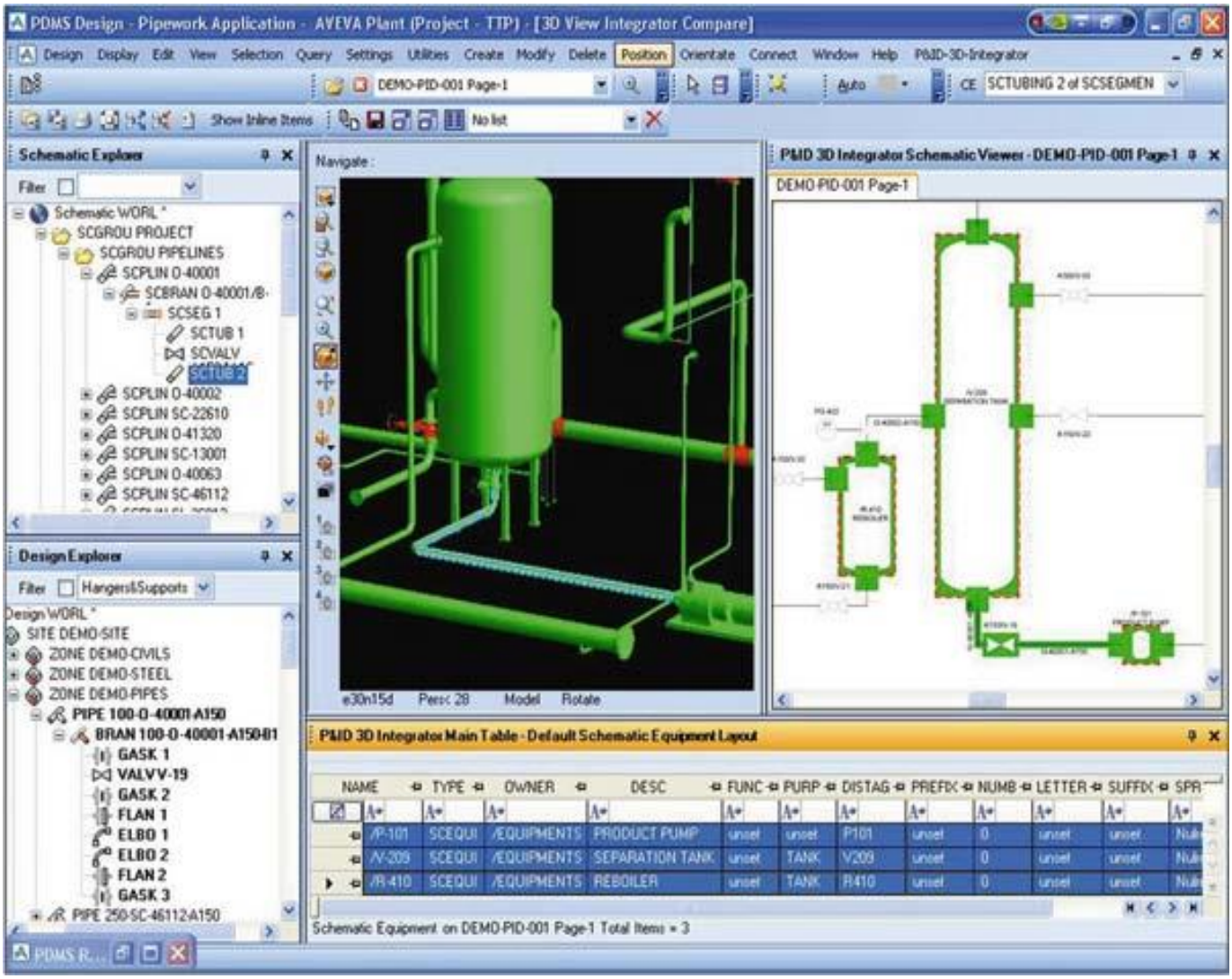



Рисунок 17.4- Общая схема работы проектного института с применением программных продуктов AVEVA

интерактивные схемы кабельных связей и электроснабжения, спецификации, опросные листы, кабельные журналы и др.

AVEVA Instrumentation — технология разработки схемной части для контрольноизмерительных систем и автоматики с удобным графическим интерфейсом и широким выбором спецификаций и каталогов. Система выпуска отчетов имеет функцию подсветки изменений и обладает широкими возможностями для настройки под задачи конкретной компании.

AVEVA Engineering вносит значительный вклад в общую автоматизацию и взаимосвязь компонентов системы. В нем хранятся данные по всем элементам каталога, с помощью которых можно получать всевозможную документацию, такую как опросные листы, спецификации и т.д. Также можно осуществлять передачу данных в расчетные программы.

## Тема 17.4 Pro/ENGINEER

Pro/ENGINEER, как среда разработки, обладает возможностью параллельной разработки изделия. Многочисленный набор программных решений позволяет выбрать необходимую конфигурацию каждого рабочего места в соответствии с его функциональностью. Сюда включаются возможности промышленного дизайна, проектирования механических конструкций, в том числе управление большими сборками, имитации функциональности изделия, изготовления и управления инженерными данными. На сегодняшний день решения Pro/ENGINEER обеспечивают наиболее всестороннюю, интегрированную среду разработки продукта.

Все программные решения в Pro/ENGINEER полностью ассоциативны. Это означает, что изменение, внесенное в любой момент разработки, переносится на все этапы проектирования, автоматически обновляя все инженерные решения, включая сборки, чертежи и данные для изготовления. Ассоциативность делает возможной параллельную разработку, поддерживая внесение изменений - без риска - в любой момент проектирования, и обеспечивает, таким образом, возможность использования инженерных знаний и опыта на ранних этапах разработки.

**Объектно-ориентированное параметрическое моделирование**

- Решения в Pro/ENGINEER используют "конструктивно-технологические элементы" (фичерсы) в качестве составляющих элементов геометрической модели продукта. Фичерсы представляют собой конкретные одиночные или составные конструктивные геометрические объекты, которые содержат информацию о своем составе и могут быть легко изменяемы. К таким конструктивным элементам относятся фаски, ребра, радиусы скругления, оболочки и т.д.

- Сборка, проектирование технологической оснастки, изготовление и другие инженерные дисциплины используют фичерсы, соответствующие только этим областям. При проектировании продукта фичерсам присваиваются определенные параметры (содержащие как геометрическую, так и негеометрическую информацию), и, модифицируя эти параметры, можно легко исследовать различные варианты проекта.

- **Управление Инженерными Данными**

- Для быстрого выхода продукта на рынок требуется сокращение времени проектирования. Чтобы достигнуть этого, работа над продуктом должна осуществляться одновременно несколькими инженерными командами параллельно. Решения для управления данными в Pro/ENGINEER были специально разработаны для управления проектами, требующими одновременного доступа, характерного для параллельной разработки, что обеспечивается благодаря полной ассоциативности Pro/ENGINEER.

- **Управление сборкой**

- Основная архитектура Pro/ENGINEER позволяет легко осуществлять сборку компонентов и создавать проектируемую конструкцию с помощью таких интуитивно понятных команд, как "совместить", "вставить" и "ориентировать". Улучшенные функциональные возможности поддерживают создание и управление большими, сложными сборками, содержащими неограниченное число компонентов.

**Повторное использование инженерных данных**

- На сегодняшний день компании обеспечивают огромный рост производительности и уменьшение стоимости продукта, используя стандартные и типовые решения как основу для разработки новых продуктов. Этот подход, известный как Повторное Использование Инженерных Данных (Engineering Data Reuse - EDR), позволяет быстро создавать целые семейства изделий. Архитектура, лежащая в основе Pro/ENGINEER, позволяет легко использовать метод EDR.

Эффективность первоначальных инвестиций в проектирование увеличивается с каждым новым поколением продуктов.

- **Простота использования**
- Система выпадающих меню организована интуитивно понятным способом и обеспечивает логический выбор и предустановку большинства наиболее часто используемых опций. В любой момент доступна полная информация по выполняемой команде и короткая подсказка в окне сообщений. Это делает Pro/ENGINEER простым для понимания и использования.
- **Независимость от платформы**
- Pro/ENGINEER функционирует на всех платформах, работающих под управлением UNIX, Windows NT и Windows 95, обеспечивая одинаковый интерфейс и функциональные возможности. Пользователи могут выбирать наиболее экономичную конфигурацию платформы для своих нужд и сочетать любые комбинации платформ. Pro/ENGINEERпозволяет легко обмениваться информацией между платформами с любой архитектурой.

## Тема 17.5 Mathcad и MAS

В ряду программ нет самой востребованной программы расчетов на персональных компьютерах – электронных таблиц. А ведь, более 90% всех компьютерных расчетов проводятся в среде этого неотъемлемого компонента электронного инженерного офиса. Мы пока не будем говорить о степени сложности решаемых задач, об их особой специфике. Но даже если в нашей статистике учитывать некий коэффициент сложности задач (Excel – 1, Mathcad – 2… Mathematica – 10, к примеру, и т.д.), то все равно Excel «забьет» все остальное. Даже без учета бухгалтерских расчетов. Mathcad же займет в этом рейтинге «почетное» второе место. Можно утверждать, что беда пакета Mathcad (беда в том смысле, что его все время пытаются сравнить с пакетами MatLab, Maple, Mathematica, а самих пользователей Mathcad непрерывно уговаривают перейти на более «серьезные» пакеты) в… его названии – в этом самом «Math», вернее только в «Ma ». Пакет Mathcad (и на этом настаивают его разработчики) нужно сравнивать не с пакетами MatLab, Maple, Mathematica, а с электронными таблицами. Mathcad создавался как программное средство, альтернативное электронным таблицам. И не электронным таблицам современным, а тем, какие были на момент создания первых версий Mathcad. Хотя органические недостатки электронных таблиц, которые попытались обойти (нивелировать) разработчики Mathcad, так и остались в последних версиях Excel. Обрисуем их вкратце.

Электронные таблицы подкупают своей простотой, и это одна из причин их высокой популярности: берем содержимое двух ячеек (щелкнем по ним курсором мыши), сложим их, а ответ (сумму) поместим вот тут! На клавиатуре при этом нажимается всего лишь пара клавиш – «равно» и «плюс».

Но эта простота, как это часто случается, оказывается «хуже воровства»: в расчетах, созданных с помощью электронных таблиц, не сможет разобраться не только другой человек, желающий развить их или просто проверить правильность заложенных методик и формул, но зачастую и сам разработчик. Этот недостаток пытались исправить, интегрированием в электронные таблицы языков программирования (VBA для Excel, например) и других полезных инструментов. Но при этом получалось так, что «от чего ушли – к тому и пришли»: электронные таблицы, как, впрочем, и сам Mathcad создавались как прямая альтернатива языкам программирования – тому же языку BASIC, например. Но закрытость расчетов в электронных таблицах очень мешает их активному использованию (активному в смысле возможности изучения, проверки и модернизации) в первую очередь в сфере образования. А это основной потребитель математических пакетов. Бухгалтеру или инженеру, если он не создает свои собственные расчетные методики, достаточно ввести данные и считать ответ. Преподавателям же и студентам ответ, как правило, не очень и нужен – важно изучение пути к ответу. Написать одной строкой в текстовом режиме более-менее сложную формулу в ячейку Excel или строку VBA еще можно, но проанализировать ее, показать ее студентам для иллюстрации физического явления или технологического процесса, связанного с этой формулой, крайне трудно. В среде Maple, например, формула вводится тоже в текстовом режиме, но тут же переводится в вид, к которому человечество привыкло задолго до появления компьютеров.

За это Mathcad и хвалят (те, кто набил привык к такому графическому способу ввода формул), и ругают (естественно, те, кто так и не оторвался от текстового, DOS-овского интерфейса). А можно сказать и так – фирмы-разработчики, оставшиеся верными текстовому режиму ввода информации в формулах, были дальновидными, даже не осознавая это. Дело в том, что текст – это пока основной способ оперативной передачи данных в сети

Интернет . «Ахиллесова пята» пакета Mathcad в его названии, которое как бы авансом приписывает эту программу к «элитному клубу» математических пакетов. Вторая беда в том, что разработчики Mathcad, может быть, из-за желания отработать этот аванс все время «подтягивали» эту программу к математическим пакетам, встраивая в него все новые и новые математические инструменты. Многие из них оказались очень полезными и востребованными, а другие же только отягощали пакет. Так, например, в Mathcad 11 вставлены инструменты решения дифференциальных уравнений в частных производных (см. twt.mpei.ac/mas/worksheets/pde_Temperature.mcd, например), хотя все понимают, что сколько-нибудь сложную задачу этими инструментами не решить. Можно только показать студентам, что это такое – дифференциальное уравнение в частных производных и как можно подойти к его решению. Для сложных и реальных задач нужно брать другие пакеты или даже (и скорее всего) разрабатывать индивидуальные алгоритмы, что, кстати, можно прекрасно делать и в среде Mathcad. Вот и начинают сравнивать пакет Mathcad с Maple или MatLab, где эти инструменты более развиты. И сравнение это, конечно, не в пользу Mathcad. В включением в Mathcad специализированных, а не общематематических инструментов разработчики Mathcad как бы сами подставляют себя под огонь критики и толкают пакет на тупиковый путь развития – на путь, который уже давно прошли «настоящие» матпакеты. Бьет это и по традиционным пользователям Mathcad, которые не так сильны в математике, да и не чувствуют особой нужды в ней для решения своих рутинных задач. Новые сложные инструменты новых версий Mathcad часто только смущают таких пользователей, лишний раз как бы упрекая их в незнании каких-то специальных разделов математики. Да и накладно все это в финансовом плане – новые версии Mathcad с несущественными изменениями появляются чуть ли не каждый год.

Здесь представляется оптимальным не подключать к Mathcad все новые и новые специализированные инструменты (для решения ДУ в частных производных, например, – см. выше), а идти уже опробованным путем создания отдельных специализированных приложений, которые пользователи при необходимости могли бы приобретать отдельно. Перечень таких приложений можно найти на сайте mathcad/library/Electronic_Books.asp. Еще раз подчеркнем, что некоторые специфические функции Mathcad открывают некий «ящик Пандоры» и вынуждают этот пакет претендовать на то, что ему никогда не принадлежало. В реальной практике инженера сложных задач не так уж много (к счастью, а может, к сожалению). Но очень много рутинных небольших задач, связанных, например, с использованием различных нормам и правилам. Так, по Интернет-адресу twt.mpei.ac/mas/worksheets/Izol_Trub_Teploset.mcd хранится Mathcad-документ по расчету толщины теплоизоляции труб согласно СНиП («Строительные нормы и правила» – см. docinfo/docs.html, например). И таких примеров множество. Особо сложной математики в них нет из-за того, что они ориентированы на ручные расчеты. С ними часто мучаются – считают каждый раз заново, ошибаются… Mathcad хорош тем, что расчет, выполненный с его помощью, может читать человек, ничего не знающий об этом пакете.

У фирмы MathSoft Engineering & Education. Inc, – у разработчика Mathcad есть, кстати, программный продукт без особых «математических» претензий, но со всеми достоинствами популярной и востребованной программы для рутинных инженерных расчетов на компьютере. Это пакет StudyWorks (studyworksonline/), который широко используется в старших классах школ США. Успех этого пакета объясняется и тем, что в него интегрированы электронные учебники по всем базовым школьным дисциплинам: математика, физика, химия, информатика и т.д. Возможности пакета во многом покрывают и программу высшей школы, по крайней мере,

для тех вузов и специальностей, которым не нужна «особая» математика. Так, в меню Algebra собраны необходимые команды символьной математики (решение уравнений, взятие производной, поиск первообразной и др.), но убраны специфические – интегральные преобразования, например. Ядро пакета небольшое, но при необходимости его можно «нарастить» электронными учебниками. Кроме того, пакет StudyWorks, как и Mathcad дополнен справочным материалом. Если этого не хватает для решения задачи (домашнего задания по математике, например), то есть on-line выход в Интернет (StudyWorks! On-line), включая и выход на специализированный форум (HomeworkHelp).

Сам же Mathcad, как отмечают многие пользователи и мы подчеркнули выше, очень перегружен, хотя до конца так и не «дорос» до «взрослых» математических программ. Если эту «перегрузку» снять – вынести, например, специализированные инструменты в обособленные пакеты (надстройки, электронные учебники), то и получится этот самый недорогой и неглючный StudyWorks, годный для ведения огромного количества рутинных научно-технических расчетов.

Судьба Mathcad довольно неопределенна и нестабильна. Вернее, скажем так – она очень волнует автора и многих других его коллег. Хорошо бы, если б этот пакет проглотила бы «всеядная» фирма Microsoft и сделала Mathcad, например, некой утилитой тех же электронных таблиц так, чтобы пользователь Excel мог в особом листе Excel-книги хранить сложные формулы, строить «научные» (а не «деловые») графики, работать с физическими величинами и т.д.

Другой сценарий: пакет Mathcad должен вернуться на рынок после существенной переработки и с новым названием – без ко многому обязывающей приставки «Math».

Третий сценарий. Разработчики Mathcad освободят основную массу пользователей от обязанности и потребности покупать сам пакет и регулярно обновлять его, а заодно обновлять (заменять) операционную систему и даже сам компьютер. Этот сценарий уже частично реализуется. Речь идет о так называемом Mathcad Application Server (см. www.mathcad/server, www.vpu/mas), на котором проводятся расчеты разной степени сложности в режиме удаленного доступа. Связь же с этим сервером осуществляется через Internet: пользователь (клиент сервера) шлет на сервер свои данные и получает ответ. При этом у пользователя сохраняется полная иллюзия, что он открыл Mathcad-документ и работает с ним. Значительному количеству пользователей Mathcad нужен не для разработки собственных сложных алгоритмов, а для решения рутинных математических задач: построение графиков, решение уравнений и систем (алгебраических, дифференциальных), несложная статистика и т.д. и т.п. (см. раздел Разное в Приложении «Содержание MAS…»). Такие задачи не должны требовать разработки собственных программ – они давно уже разработаны и основательно протестированы. Основная проблема тут – доступ к этим программам, что является основной целью MAS.

Некую нестабильность пакета Mathcad в его настоящем виде ощущают даже его разработчики. Они, конечно, в этом открыто не признаются и даже обидятся на утверждающих это. Но эта нестабильность чувствуется по косвенным признакам. Главный из них – уже отмеченное неоправданно частое обновление версий Mathcad и посылаемые вдогонку «заплатки».

Но основное преимущество Mathcad (как, впрочем, и Excel) по сравнению с другими расчетными пакетами состоит в том, что Mathcad не требует особой компьютерной и математической подготовки для решения задач средней сложности. Если с пакетом Mathcad долго не работать, то навыки работы с ним не забываются и при необходимости можно сразу приступить к решению возникшей расчетной задачи. «Конкуренты» же

Mathcad, реальные и мнимые требуют непрерывного тренажа иначе восстановить навыки будет довольно трудно.

Пакет Mathcad оторвался от несовершенных и примитивных, но, тем не менее, (или «тем самым») очень популярных электронных таблиц и стал «дрейфовать» в сторону «элитных» математических программ, но так и не добрался до них.

# Тема 17.6 MATLAB

MATLAB — это высокоуровневый язык и интерактивная среда для программирования, численных расчетов и визуализации результатов. С помощью MATLAB можно анализировать данные, разрабатывать алгоритмы, создавать модели и приложения.

Язык, инструментарий и встроенные математические функции позволяют вам исследовать различные подходы и получать решение быстрее, чем с использованием электронных таблиц или традиционных языков программирования, таких как C/C++ или Java. MATLAB широко используется в таких областях, как:

- обработка сигналов и связь,
- обработка изображений и видео,
- системы управления,
- автоматизация тестирования и измерений,
- финансовый инжиниринг,
- вычислительная биология и т.п.

Более миллиона инженеров и ученых по всем миру используют MATLAB в качестве языка технических вычислений. MATLAB по сравнению с традиционными языками программирования (C/C++, Java, Pascal, FORTRAN) позволяет на порядок сократить время решения типовых задач и значительно упрощает разработку новых алгоритмов.

MATLAB представляет собой основу всего семейства продуктов MathWorks и является главным инструментом для решения широкого спектра научных и прикладных задач, в таких областях как: моделирование объектов и разработка систем управления, проектирование коммуникационных систем, обработка сигналов и изображений, измерение

сигналов и тестирование, финансовое моделирование, вычислительная биология и др.

Ядро MATLAB позволяет максимально просто работать с матрицами реальных, комплексных и аналитических типов данных и со структурами даны и таблицами поиска.

MATLAB содержит встроенные функции линейной алгебры (LAPACK, BLAS), быстрого преобразования Фурье (FFTW), функции для работы с полиномами, функции базовой статистики и численного решения дифференциальных уравнений; расширенные математические библиотеки для Intel MKL.

Все встроенные функции ядра MATLAB разработаны и оптимизированы специалистами и работают быстрее или так же, как их эквивалент на C/C++.

## Тема 17.7 SolidWorks

SolidWorks (Солидворкс) — программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. Работает в средеMicrosoft Windows. Разработан компанией SolidWorks Corporation, ныне являющейся независимым подразделением компании Dassault Systemes (Франция). Программа появилась в 1993 году и составила конкуренцию таким продуктам, как AutoCAD и Autodesk Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS и Pro/ENGINEER.

Решаемые задачи:

- **Конструкторская подготовка производства (КПП):**
- 3D проектирование изделий (деталей и сборок) любой степени сложности с учётом специфики изготовления.
- Создание конструкторской документации в строгом соответствии с ГОСТ.
- Промышленный дизайн.
- Реверсивный инжиниринг.
- Проектирование коммуникаций (электрожгуты, трубопроводы и пр.).
- Инженерный анализ (прочность, устойчивость, теплопередача, частотный анализ, динамика механизмов, газо/гидродинамика, оптика и светотехника, электромагнитные расчеты, анализ размерных цепей и пр.).
- Экспресс-анализ технологичности на этапе проектирования.
- Подготовка данных для ИЭТР.
- Управление данными и процессами на этапе КПП.

- **Технологическая подготовка производства (ТПП):**
  - Проектирование оснастки и прочих средств технологического оснащения
  - Анализ технологичности конструкции изделия.
  - Анализ технологичности процессов изготовления (литье пластмасс, анализ процессов штамповки, вытяжки, гибки и пр.).
  - Разработка технологических процессов по ЕСТД.
  - Материальное и трудовое нормирование.
  - Механообработка: разработка управляющих программ для станков с ЧПУ, верификация УП, имитация работы станка. Фрезерная, токарная, токарно-фрезерная и электроэрозионная обработка, лазерная, плазменная и гидроабразивная резка, вырубные штампы, координатно-измерительные машины.
  - Управление данными и процессами на этапе ТПП

- **Управление данными и процессами:**
  - Работа с единой цифровой моделью изделия.
  - Электронный технический и распорядительный документооборот.
  - Технологии коллективной разработки.
  - Работа территориально-распределенных команд.
  - Ведение архива технической документации по ГОСТ
  - Проектное управление.
  - Защита данных. ЭЦП.
  - Подготовка данных для ERP, расчет себестоимости.

Система включает программные модули собственной разработки, а также сертифицированное ПО от специализированных разработчиков (SolidWorks Gold Partners).

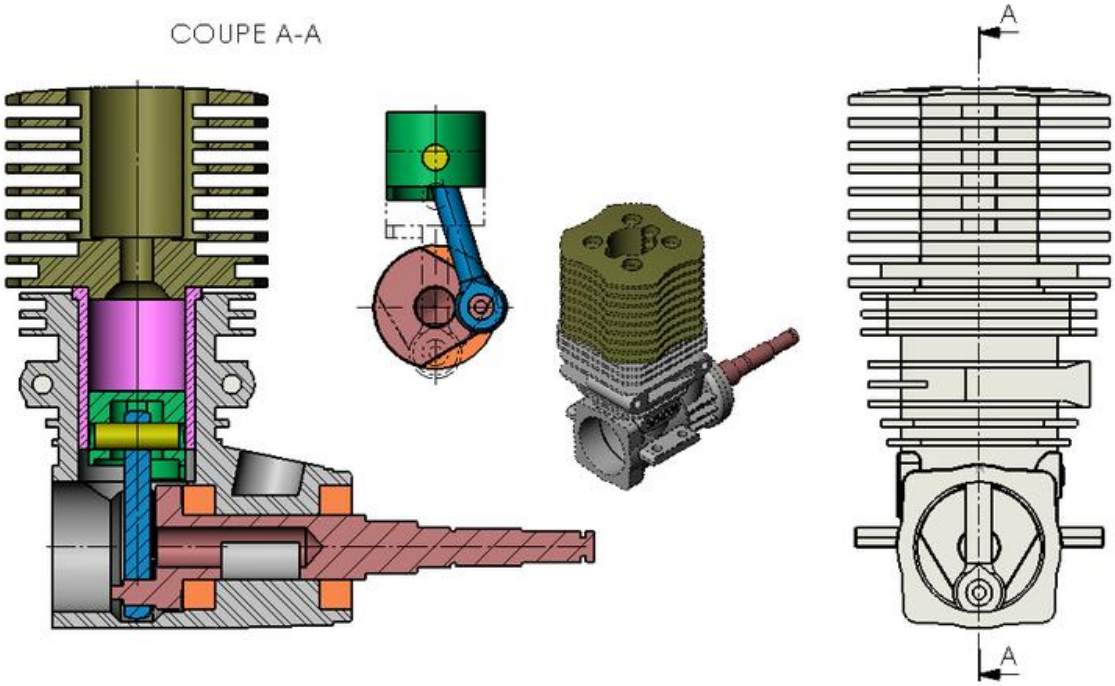



Рисунок 17.9 – Пример SolidWorks

# Тема 17.8 AutoCAD

AutoCAD – это Система Автоматического ПРоектирования (САПР). Она относится к классу программ CAD (Computer Aided Design), которые предназначены, в первую очередь, для разработки конструкторской документации: чертежей, моделей объектов, схем и т. д.

Программа позволяет строить 2D и 3D чертежи любых назначения и сложности с максимальной точностью.

Разработчиком программы является американская компания Autodesk, которая является на мировом рынке признанным лидером среди разработчиков систем САПР. Название программы – AutoCAD – образуется от английского Automated Computer Aided Drafting and Design, что в переводе означает «Автоматизированное черчение и проектирование с помощью ЭВМ».

Программа получила широкое распространение уже в начале 90-х годов. Тогда это была десятая версия и работала она на основе ОС MS-DOS. Начиная с 14 версии, AutoCAD стал работать под ОС Windows, а в конце 90-х появляются 15я версия и следующая – 2000i.

Начина с версии AutoCAD 2004, программа приобрела именно те основные принципы работы, которые лежат в ней и поныне. С тех пор, каждая последующая версия программы, приобретая дополнительные функции и возможности, обладает все теми же основными механизмами и инструментами, становясь, однако, все более совершенной, удобной и функциональной.

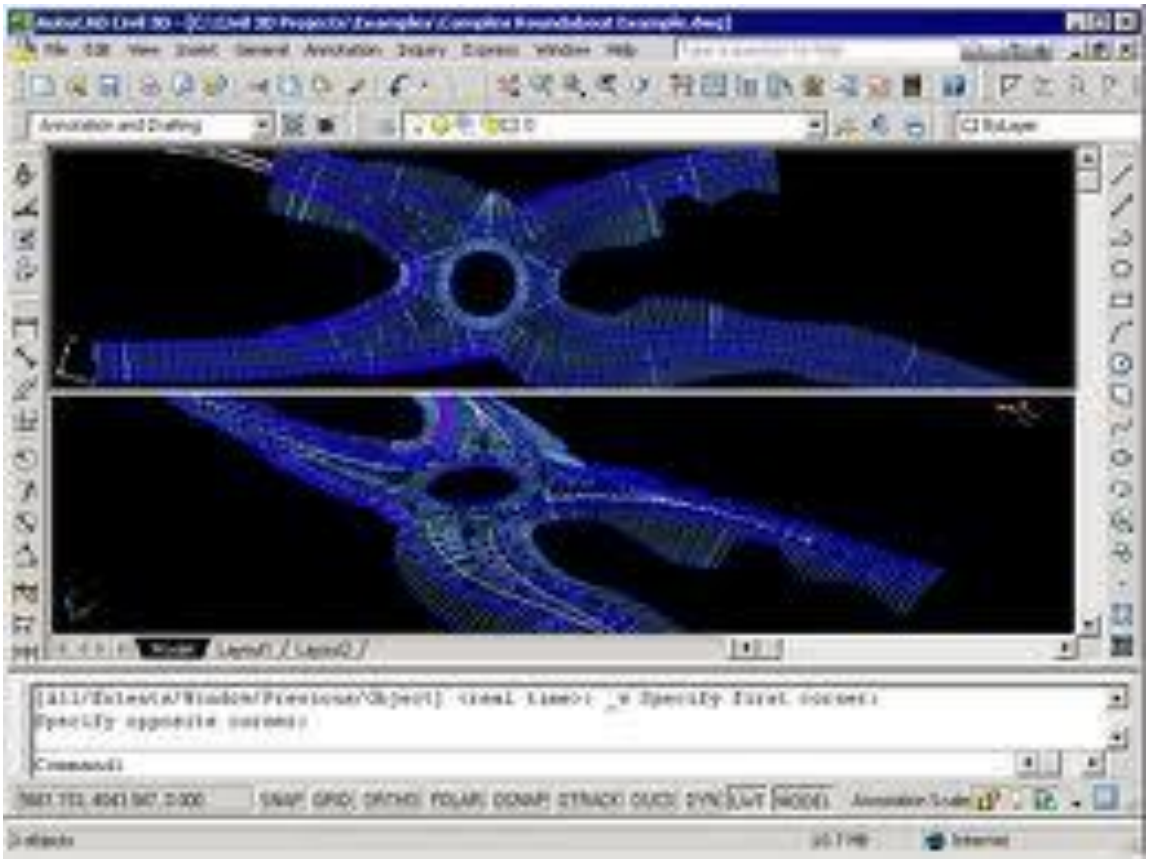


Рисунок 17.10- AutoCAD

## Тема 17.9 Компас-3D

Система проектирования Компас-3D разработана российской компанией ЗАО «Аскон». Программа Компас-3D позволяет моделировать объекты за относительно короткое время и быстро запускать проекты в производство. Это стало возможным благодаря большим возможностям программы.

Система Компас-3D позволяет быстро оформить технологическую и конструкторскую документацию, полностью передать геометрию объекта в расчетные пакеты и пакеты, которые используют ЧПУ. Кроме этого программа позволяет создавать дополнительные изображения деталей, которые могут понадобиться при составлении каталогов и другой документации. Компас-3D является системой трехмерного моделирования твердых тел, модулем по проектированию спецификаций и чертежно-графическим редактором.

Целью работы системы трехмерного твердотельного моделирования является создание трехмерных моделей изделий и объектов, сборочные единицы с оригинальными и конструктивными элементами. Эта система позволяет получать модели изделий из ранее спроектированных.
Модуль проектирования спецификаций используется с компонентами системы проектирования Компас-3D и позволяет создавать различные спецификации к ведомости проектов, к графической документации и различными табличными документами. Есть возможность связывать документ-спецификацию со сборочным чертежом, или трехмерной моделью.
Чертежно-графический редактор используется в машиностроении, строительстве и архитектуре и предназначен для автоматизирования проектных работ. Система проектирования Компас-3D имеет

адаптированный интерфейс для создания проектов в энергетической, строительной и машиностроительной области. Программа Компас-3D является отличным аналогом зарубежных программ системы САПР.

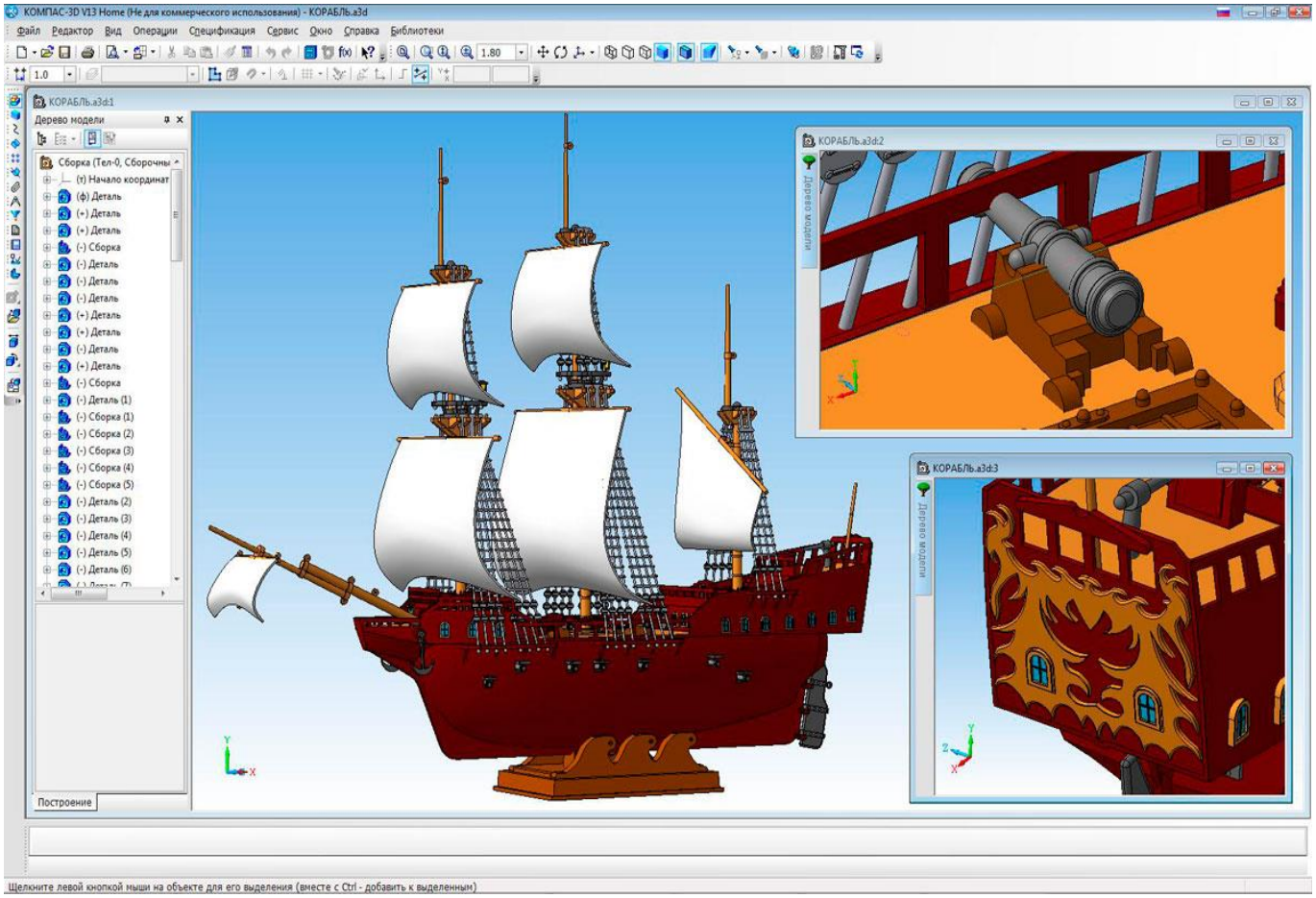



Рисунок 19-Компас

# Тема 17.10 АСКУЭ и АСУ ТП

Автоматизированная система ко*ммерчес*кого учёта электроэнергии — обеспечивает коммерческий учёт электроэнергии(мощности).

Системы энергоучёта позволяют производить учёт потребления электроэнергии и тепла на объектах жилого, коммерческого и производственного назначения. Системы могут учитывать потребление энергоресурсов на уровне дома, районов, города, населенного пункта с единым диспетчерским и финансовым центрами.

Функции системы:

- Автоматический сбор данных коммерческого учёта потребления (отпуска) электроэнергии по каждой точке (группе) учёта на заданных коммерческих интервалах (согласно ОАО АТС — 30 мин.).
- Хранение параметров учёта в базе данных.
- Обеспечение многотарифного учёта потребления (отпуска) электроэнергии.
- Обеспечение контроля за соблюдением лимитов энергопотребления.
- Вывод расчетных параметров на терминал и/или на устройство печати по требованию оператора.
- Ведение единого системного времени с возможностью его корректировки.

В Республике Беларусь (согласно ТКП 308-2011) АСКУЭ — система технических и программных средств для автоматизированного сбора, передачи, обработки, отображения и документирования процесса выработки, передачи и (или) потребления электрической энергии (мощности) по заданному множеству пространственно распределенных точек их измерения, принадлежащих объектам энергоснабжающей организации или абоненту.

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) — группа решений технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на промышленных предприятиях. Может иметь связь с более общей автоматизированной системой управления предприятием (АСУП).

Под АСУ ТП обычно понимается целостное решение, обеспечивающее автоматизацию основных операций технологического процесса на производстве в целом или каком-то его участке, выпускающем относительно завершённое изделие.

Понятие «автоматизированный», в отличие от понятия «автоматический», подчёркивает необходимость участия человека в отдельных операциях, как в целях сохранения контроля над процессом, так и в связи со сложностью или нецелесообразностью автоматизации отдельных операций.

Составными частями АСУ ТП могут быть отдельные системы автоматического управления (САУ) и автоматизированные устройства, связанные в единый комплекс. Такие как системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA), распределенные системы управления (DCS), и другие более мелкие системы управления ( например системы на программируемых логических контроллерах (PLC)). Как правило, АСУ ТП имеет единую систему операторского управления технологическим процессом в виде одного или нескольких пультов управления, средства обработки и архивирования информации о ходе процесса, типовые элементы автоматики: датчики, устройства управления, исполнительные устройства. Для информационной связи всех подсистем используются промышленные сети.

Также, не следует путать понятия "АСУ ТП" и "КИПиА" (контрольно-измерительные приборы и автоматика) в плане специализации работников промышленных предприятий - разделение по видам деятельности, в основном, ведётся на технологическом уровне: специалисты АСУ ТП обслуживают контроллерное оборудование, программное обеспечение, АРМ и их поддержку,

в то время как в ответственности специалистов КИПиА находится остальное оборудование и принадлежности, также попадающих под общее понятие "АСУ ТП". В частности, на многих промышленных предприятиях используется следующее правило: "Всё, что от контроллера до клеммников - АСУ ТП, после — КИПиА и других служб".

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потребности современного производства диктуют необходимость глобального использования информационных компьютерных технологий на всех этапах жизненного цикла изделия: от предпроектных исследований до утилизации изделия.

В рамках жизненного цикла промышленных изделий САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства.

Основная цель создания САПР — повышение эффективности труда инженеров, включая:

-сокращения трудоёмкости проектирования и планирования;

-сокращения сроков проектирования;

-сокращения себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;

-повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;

-сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.

Достижение этих целей обеспечивается путем:

- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки и автоматизации процесса принятия решений;
- использования технологий параллельного проектирования;
- унификации проектных решений и процессов проектирования;
- повторного использования проектных решений, данных и наработок;
- стратегического проектирования;

- замены натурных испытаний и макетирования математическим моделированием;
- повышения качества управления проектированием;
- применения методов вариантного проектирования и оптимизации.

# ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## AutoCAD

## 2D **МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**Лабораторная работа №1**

Тема: Основные пункты меню.

Цель: Ознакомиться с командами общего редактирования.

**Общие сведения**

Главное меню программы содержит 11 пунктов, при активизации которых появляются так называемые выпадающие меню, содержащих команды программы. Вот основные из них:

Пункт File содержит команды для работы с файлами с последующим выводом их на печать, сохранением и переименованием.

Пункт Edit содержит функции для работы с буфером обмена Windows, отмены и повторения команд, поиска строк.

Пункт View содержит команды для управления изображением на экране.

Пункт Insert содержит команды для вставки различных объектов.

Пункт Format содержит команды для управления слоями, стилями линий, текста, цветами, свойствами наносимых размеров.

Пункт Tools содержит команды для настройки параметров черчения, привязок, систем координат. Обеспечивается работа с базами данных.

Пункт Draw содержит команды для черчения примитивов, таких как линии, дуги, окружности, сплайны и т.д.

Пункт Dimension содержит команды для расстановки размеров.

Пункт Modify содержит команды для редактирования существующих примитивов.

Пункт Window содержит команды для управления многооконной системой AutoCAD:

Cascade - располагает окна чертежей одно за одним чуть смещая по горизонтали и вертикали

Tile Horisontally - выстраивает окна, деля экран на горизонтальные части

Tile Vertically - выстраивает окна, деля экран на вертикальные части.

Arrange icons - упорядочивает значки.

Ниже приведенных команд находится список окон в системе в данный момент.

Пункт Help содержит команды вызова справки по системе AutoCAD.

**Операции над файлами собраны в падающем меню Файл:**

*Новый (New)*

Пункт Новый – открывает в рабочей области новый рисунок по простейшему шаблону или по специальному шаблону согласно нашему выбору → идентично окну Начало работы.

*Открыть (Open)*

Пункт Открыть – вызывает диалоговое окно Выбор файла. В этом пункте нужно найти папку и левой кнопкой мыши выбрать имя открываемого файла с расширением dwg. Просмотреть в области Предварительный просмотр отмеченный рисунок, после чего нажать кнопку Открыть.

*Частичная загрузка*

При необходимости можно открыть поочерёдно сразу несколько рисунков, причем любые из них могут быть открыты не полностью (частичная загрузка рисунка).

*Закрыть (Close)*

Любой из открытых рисунков может быть закрыт с помощью пункта Закрыть. AutoCAD анализирует, сохранены ли изменения рисунке, и если нет, то задает

вопрос Сохранить изменения в _имя файла_(Save changes to …).

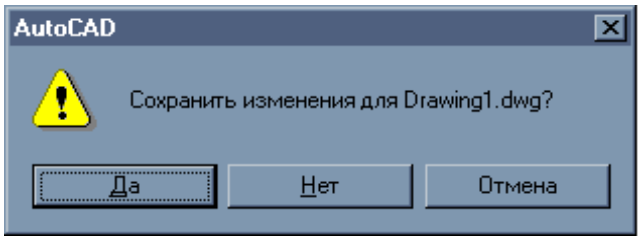



**Рисунок.**1 - **Окно сохранения изменений**

Необходимо с помощью мыши щелкнуть по кнопке Да, если изменение нужно сохранить, или Нет, если изменения не нужны.

*Сохранить(Save)*

Пункт Сохранить позволяет сохранять изменения открытого рисунка в файле с тем же именем.

*Сохранить как… (Save as…)*

Пункт Сохранить как…- это запись в другой файл. Откроется окно, в котором нужно для сохранения выбрать папку и ввести имя файла (расширение dwg не указывается, оно будет добавлено автоматически). В данном окне есть также возможность с помощью поля Тип файла сохранения рисунка в одном из дополнительных форматов, которые понимает AutoCAD 2000(2002). При создании новых рисунков AutoCAD дает им условные имена: Drawing1, Drawing2, … Пользователь может дать им свои имена (Вал, штуцер, корпус и т. д.).

*Экспорт (Export)*

Сброс информации с ПК на какой-либо носитель.

| | |
|---|---|
| *Печать (Print)* | Вывод информации на бумагу. |
| *Очистить (Clear)* | Удаление информации. |
| *Выход (Exit)* | Для выхода из сеанса редактирования воспользуемся пунктом Выход |
| *Свойства рисунка* | Как и Microsoft Office, AutoCAD дает возможность сохранить вместе с рисунком некоторую авторскую информацию. Для этого выбрать пункт Свойства рисунка, который открывает одноименное диалоговое окно.<br><br>В этом окне имеются кнопки $4^x$ вкладок, которые выбираются щелчком левой кнопки мыши. Вкладки Общие и Статистика содержат данные, заносимые системой AutoCAD, а вкладки Документы и Прочие заполняются непосредственно автором чертежа. Все эти данные охраняются вместе с чертежом. |

## Команды AutoCAD

В AutoCAD существует четыре способа работы с командами:

- при помощи командной строки;
- с помощью панелей инструментов;
- с помощью системного меню;
- с использованием контекстных меню (список с множественным выбором)

## Работа с командной строкой

### Ввод команд

Практически все функции системы AutoCAD можно вызвать с помощью командной строки.

Все команды AutoCAD имеют однословные наименования. Они полностью дублируют наименование соответствующего пункта меню или кнопки панели инструментов.

Команды можно вводить в ответ на приглашение: (Команда:). Для выполнения необходимо набрать имя команды и нажать <ENTER> либо пробел. Далее система будет выдавать запросы соответствующие введенной команде, на которые следует отвечать (ответ может быть введен с клавиатуры или через контекстное меню). Прервать выполнение команды можно клавишей <Esc>.

Часто при ответе на запрос можно вводить несколько возможных в данной ситуации ключевых слов, называемых опциями или ключами, которые обычно выводятся в строке запроса в квадратных скобках, например: [ON/OFF].

Существуют команды, которые могут выполняться внутри других, как, например, ZOOM (ПОКАЖИ). Эти команды относятся к виду так называемых «прозрачных команд». Если их исполнять внутри других команд, то их следует вводить с апострофом перед именем команды, после отработки «прозрачной команды» можно продолжать работу с основной командой. При использовании мыши – никаких дополнительных символов не вводим.

Для повторения последней введенной команды следует нажать <ENTER> либо пробел в ответ на приглашение Command: (Команда:). Кроме того, клавишами стрелок вверх и вниз можно перелистывать введенные команды и выбрав нужную нажать <ENTER> для выполнения.

При исполнении некоторых команд для ввода параметров используются диалоговые окна. Если предпочтительнее ограничиться вводом параметров из командной строки, то при вводе перед командой следует поставить знак минус (например: -LAYER).

**Ход работы:**

В данной работе вам нужно научиться работать с линиями и фигурами, не менее важно научиться удалять не нужные их элементы. В этом вам помогут:

**Команды общего редактирования**.

Кнопка ERASE

Команды стереть – стирает с экрана выбранные объекты и удаляет их из рисунка.

Можно использовать «ручки»:

Выделить «ручками» объект или мышью, и нажать на клавишу Delete.

Во избежание команды стереть, можно пользоваться правилом «Привязки»: чтобы линия (фигура) утвердилась, и не было лишних элементов, нужно щелкнуть правой клавишей мыши и выбрать «Ввод».

Хитрость: если линия не удаляется по частям - она цельная, это действие не возможно. Нужно выделить эту линию, выбрать одну из меток разделения (зажима) и тащить, пока ее размеры не сократятся до требуемых.

Ваша задача заключается в следующем: с помощью закладки «Рисовать», либо строковой команды «Draw»(рис. 1.1)

Выполнить практическое задание вашего варианта, после чего необходимо сохранить свою работу под названием «Лаб.1\вариант\Ф.И.О\номер группы ».

Рисунок 1.1-Панель инструментов Draw

**Вариант 1**

(все нечетные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Краткое содержание пунктов File, Edit, Format, Tools, Modify.

2. Четыре способа работы с командами.

3. Команды общего редактирования.

Задача:

Изобразить анкерный болт (рисунок 1.2).

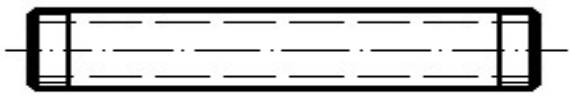


Рисунок 1.2-Анкерный болт

**Вариант 2**

(все четные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Краткое содержание пунктов View, Draw, Dimension, Window.

2. Операции над файлами в падающем меню File.

3. Команды Erase и ее способы избегания.

Задача:

Изобразить головку ключа (рисунок 1.2).

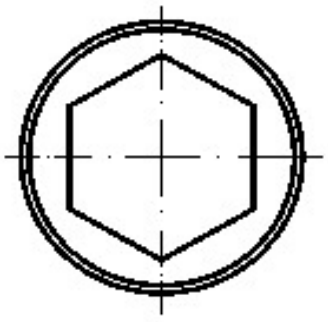


Рисунок 1.3-Головка ключа

**Лабораторная работа №2**

Тема: Команды общего редактирования COPY и MIRROR, знакомство со слоями

Цель: Научиться работать с командами COPY и MIRROR, применение слоёв

**Ход работы:**

Начало работы со слоями;

Инструментальная панель Object Properties (Слои)

Инструментальная панель Object Properties (рисунок.2.1) чаще всего располагается под строкой панели Standard Toolbar и содержит инструменты, облегчающие работу со слоями и свойствами линий.

Кнопка Make Object's Layer Current позволяет установить слой выбранного объекта в качестве текущего.

Кнопка Layers открывает диалоговое окно Layer Properties Manager (рис. 4.2), в котором пользователю представлены средства для работы со слоями и редактирования их свойств. Работа с этим окном будет описана ниже.

Кнопка Layer Previous позволяет восстановить предыдущее состояние слоя.

Раскрывающийся список Layer Control служит для управления слоями. Каждый пункт списка содержит пять значков, описывающих его состояние (статус): включен/ выключен; заморожен/разморожен; блокирован/разблокирован; вычерчивается/не вычерчивается при получении твердой копии; цвет и имя слоя.

Раскрывающийся список Color Control служит для управления цветом объектов.

Раскрывающийся список Linetype Control служит для управления типами линий и обеспечения доступа к диалоговому окну загрузки новых типов линий.

Раскрывающийся список Lineweight Control служит для выбора текущей толщины линии.

Раскрывающийся список Plot Style служит для управления стилем вывода изображения на плоттер. Список доступен только при использовании именованных стилей печати.

*Рисунок.2.1 Панель инструментов* Object Properties

В процессе работы с системой AutoCAD для структурирования графической информации применяется полезный и удобный способ, основанный на технике слоев. Слой — это мощное средство для логической группировки данных, подобное наложению друг на друга прозрачных калек с фрагментами чертежа. Таким образом, чертеж представляется в виде неограниченного множества слоев, на каждом из которых могут быть размещены различные объекты. Слой может отображаться на экране монитора отдельно или в комбинации с другими слоями, он может быть включен, выключен или заблокирован для редактирования.

Каждый слой имеет свое имя (имя слоя может содержать до 255 символов) и характеризуется цветом, типом и толщиной линий, которые устанавливаются для всех объектов, принадлежащих слою. Кроме того, каждому слою может быть разрешен или запрещен вывод объектов, принадлежащих слою, на устройство печати. Поэтому, вместо того чтобы указывать эти свойства для каждого объекта, можно пользоваться их значениями для данного слоя, если они соответствуют вашим желаниям. Средства для работы со слоями и редактирования их свойств открывает диалоговое окно Layer Properties Manager (рисунок.2.2).

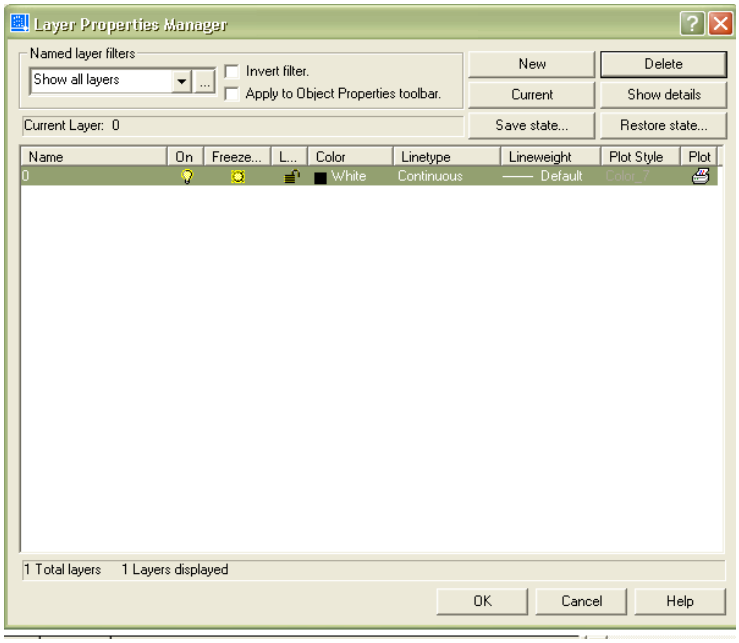



Рисунок.2.2 Диалоговое окно Layer Properties Manager

Диалоговое окно Layer Properties Manager позволяет отфильтровать список слоев по различным критериям, перечень которых приведен в раскрывающемся диалоговом окне Named Layer Filters. В окне имеются инструменты, позволяющие сформировать набор критериев фильтра и присвоить ему имя:

Кнопка New позволяет создать новый слой. После щелчка по этой кнопке в таблице слоев появится новое имя — по умолчанию это Layer 1. Свойства нового слоя система AutoCAD устанавливает также по умолчанию. Если желательно продублировать свойства существующего слоя в создаваемом слое, то существующий слой нужно выделить перед щелчком по кнопке New. Если необходимо создать несколько слоев, то просто щелкните на кнопке New соответствующее число раз.

Кнопка Delete позволяет удалить выделенный слой. Удаление слоя из таблицы происходит в том случае, если:

Выделенный слой не является текущим;

Выделенный слой не имеет объектов;

Выделенный слой не принадлежит внешней ссылке. Слои с именами 0 и Defpoint удалять нельзя.

Кнопка Current позволяет назначить слой, выделенный в таблице, текущим слоем.

Кнопка Show details открывает дополнительное окно внизу диалогового окна Layer Properties Manager, содержащее детальное представление свойств выделенного в таблице слоя. После того как дополнительное окно будет открыто, надпись на кнопке Show details будет заменена надписью Hide details.

Кнопка Save state... открывает диалоговое окно Save Layer States, с помощью которого можно сохранить текущую комбинацию свойств и режимов состояния существующих слоев. После того как окно будет открыто, укажите имя комбинации в поле ввода, а затем установите на панелях Layer States и Layer Properties необходимые флажки.

Кнопка Restore State открывает диалоговое окно Layer States Manager для управления сохраненными именованными комбинациями свойств и режимов состояния слоев.

Загрузка свойств новых слоев производится щелчком на соответствующей комбинации значков, характеризующих имя слоя, состояние слоя, его цвет; тип линии, вес линии и стиль вычерчивания. Характеристики слоев следующие:

Name (Имя) – имя слоя, длиной от 1 до 31 символа;

On (Вкл) – состояние включения слоя (включен или выключен);

Freeze in all VP (Замороженный на всех ВЭ) – состояние замораживания относительно всех видовых экранов одновременно (заморожен или разморожен);

Lock (Блокированный) – состояние блокирован или разблокирован;

Color (Цвет) – текущий цвет для объектов слоя, у которых в качестве цвета задано значение По Слою (ByLayer);

Linetype (Тип линии) – текущий тип линии для объектов слоя, у которых в качестве типа линии задано значение По Слою (ByLayer);

Lineweight (Вес линии) – текущий вес линии для объектов слоя, у которых в качестве типа веса задано значение По Слою (ByLayer);

Plot Style (Стиль печати) – стиль печати, применяемый при выводе к слою;

Plot (Печать) – состояние объектов слоя относительно вывода на внешнее устройство (выводить или не выводить).

Кнопка команды COPY.

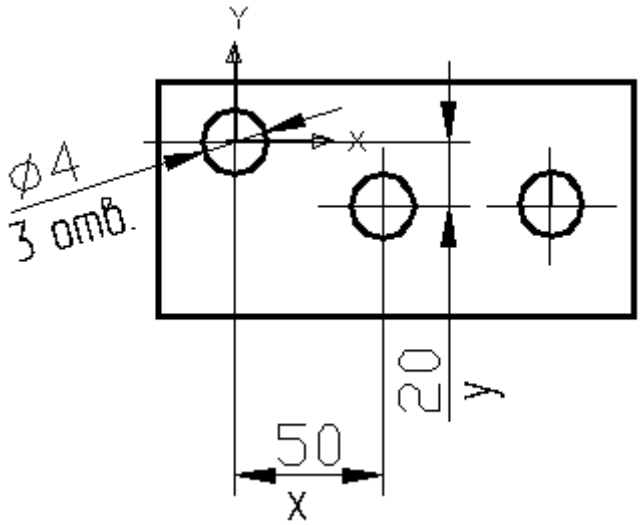
Выделить объект для копирования.

Указать базовую точку или перемещение, или несколько на объекте.

Вторую точку перемещения или считать перемещением первую точку.

В результате образуется копия выбранных объектов, которая смещена относительно оригинала на заданный вектор.

Если вместо указания 2ой точки перемещения нажать на Enter, то координаты введенной первой точки становятся координатами перемещения. Этот вариант используется, когда сдвиг объекта заранее известен, как показано на (рисунке. 2.3)




Например: 2ая окружность копируется по координатам x, y (50, -20)

Рисунок 2.3-Использование функции Copy

На запрос первой точки: 50, -20, на запрос второй точки нажать Enter.

Опция Несколько (Multiple) выполняет многократное копирование выбранных объектов (векторы копирования имеют одну и ту же первую точку, но различные вторые точки).

Копка команды Зеркало (MIRROR)

– позволяет отображать симметричные элементы относительно оси (рисунок.2.4):

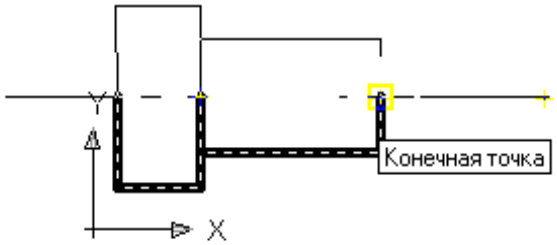



Рисунок 2.4- Использование функции Mirror

Выделить объекты отображения (секущей рамкой или левой кнопкой мыши), и нажать Enter

Указать первую точку на оси отражения (использовать привязку) левой кнопкой мыши

Указать вторую точку на оси отражения левой кнопкой мыши.

Нажать клавишу Enter или правую кнопку мыши (это соответствует ответу «Да» - не удалять объекты оригинала)

**Вариант 1**

(все нечетные номера компьютеров)

Вопросы:

1. AutoCAD 2004.

2.Кнопка команды Копировать, принцип работы.

Задача:

Изобразить данный чертеж, пользуясь командами, рассмотренными выше (рисунок 2.5).

**Вариант 2**

(все четные номера компьютеров)

Вопросы:

1.Новые инструменты, ускоряющие процесс работы (скорость созд.).

2.Кнопка команды Зеркало, принцип работы.

Задача:

Изобразить данный чертеж, пользуясь командами, рассмотренными выше (рисунок 2.6).

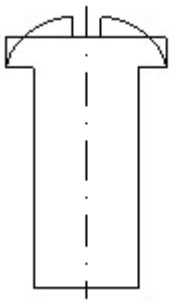


Рисунок 2.5-Фигура для 1 варианта

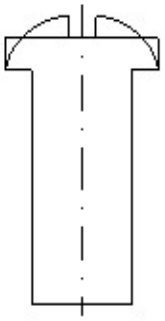


Рисунок 2.6-Фигура для 2 варианта

**Лабораторная работа №3**

Тема: Команды общего редактирования MOVE, ROTATE и BREAK.

Цель: Научиться работать с командами MOVE, ROTATE и BREAK.

**Ход работы:**

Кнопка команды Перенести (MOVE) – позволяет переместить выбранные объекты параллельно вектору, заданному двумя точками.

Выделить объект параллельно вектору, заданному двумя точками

На запрос указать первую точку (базовую точку)

На запрос задать вторую точку или считать перемещением 1$^{ую}$ точку

Если нажать на клавишу Enter, то координаты 1$^{ой}$ точки будут рассматриваться как координаты перемещения.

Переместить объект в нужное место на чертеже (отключив ORTO) или

Левая кнопка мыши

Выделить секущей рамкой объект (левой кнопкой мыши); объект выделится пунктирной линией

Указать базовую точку на объекте (с привязкой) левой кнопкой мыши, нажать Enter

Подвести курсор мыши к базовой точке и переместить объект в нужное положение и нажать левую кнопку мыши

Кнопка команды Повернуть (ROTATE)

– дает возможность повернуть выбранные объекты относительно базовой точки на заданный угол.

Текущие установки отсчета углов в ПСК:

ANGDIR = против часовой стрелки

Запрос после выбора объектов: указать базовую точку.

Угол поворота или опорный угол – указать вводом с клавиатуры или с помощью мыши

Вместо ввода угла можно указать угол поворота с помощью опции Опорный угол (REFERENTECE)

**Например:** повернуть на такой угол, чтобы надпись стала горизонтальной

Нажать кнопку левой кнопкой мыши

Выбрать объект и нажать Enter

Указать базовую точку (например, точку 1)

На запрос: Угол поворота или Опорный угол выбрать опцию Опорный угол [R]

Опорный угол <0>: выбрать точку 1 и в ответ на запрос: Вторая точка

Указать вторую точку

Новый угол (New Angle) с клавиатуры: 0

**Результат :** размер повернут до горизонтального положения.

Кнопка команды Разорвать (BREAK)

– например, нужно разомкнуть линию, чтобы потом ее удалить.

Указать объект (это будет первая точка разрыва)

Указать вторую точку разрыва или, при нажатии клавиши Enter, ею станет первая точка.

**Вариант 1**

(все нечетные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Команда Перенести (MOVE). Способы применения.

2. Команда Повернуть (ROTATE). Способ применения.

Задача:

Изобразить данный чертеж (рисунок 3.1).

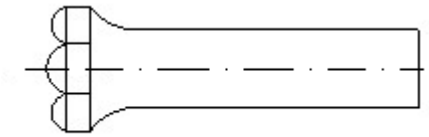


Рисунок 3.1-Фигура для 1 варианта

**Вариант 2**

(все четные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Команда Разорвать (BREAK). Способ применения.

2.Усовершенствованные возможности обмена данными AutoCAD-а.

Задача:

Изобразить данный чертеж (рисунок 3.2).

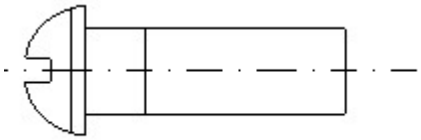


Рисунок 3.2-Фигура для 2 варианта

**Лабораторная работа №4**

Тема: Команды общего редактирования TRIM и CHAMFER.

Цель: Научиться работать с командами TRIM и CHAMFER.

Ход работы:

опка команды Обрезать (TRIM)

Например:

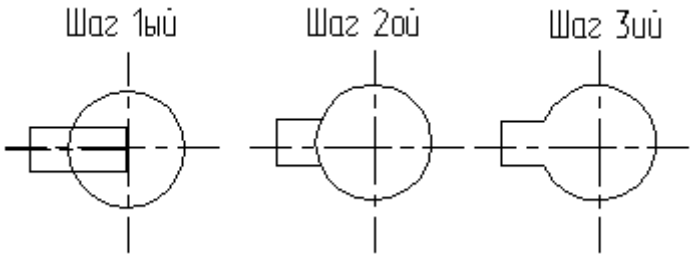



Рисунок 4. 1-Использование функции Trim

Текущие установки: проекция = ПСК Кромки = Без продолжения

Выберите режущие кромки (удаляя часть окружности, выберете и нажмите Enter)

Выбрать обрезаемый объект или Проекция/Кромка/Отменить – выбирает объект, который нужно обрезать – это часть дуги окружности

Затем повторяем операцию Удалить для оставшихся линий от паза, т.е.

Указать режущие кромки – это будет окружность

Указать обрезаемую часть линий

Кнопка команды Фаски (CHAMFER)

– если действующие параметры фаски (снять по 10 мм с каждого) вас устраивают, то можно прямо перейти к указанию первого отрезка. Если нет, то устанавливаем свои параметры длин фаски (5х5)

Например:

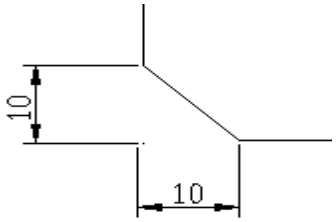



Рисунок 4.2-Использование функции ФАСКА

нажать на кнопку Фаски (CHAMFER)

в командной строке: нажать клавишу d (Длина/DISTANCE), нажимаем на клавишу Enter.

запрос: первая длина фаски <10.000>: 5 (ввести число 5)

запрос: вторая длина фаски <5>: (здесь можно нажать Enter)

команда заканчивает на этом работу. Нужно вызвать ее еще раз <Enter> - которая повторяет последнюю команду

в ответ на запрос: выберите первый отрезок или по линия/Длина/Угол/Обрезка/Метод, отметить первый отрезок

выбрать левой кнопкой мыши второй отрезок

Вариант 1

(все нечетные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Команда Обрезать (TRIM) . Способ применения.

2. Команда Фаски (CHAMFER). Способ применения.

Задача:

Изобразить болт с шестигранной головкой (рисунок 4.3).

Вариант 2

(все четные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Команда Обрезать (TRIM) . Способ применения.

2. Команда Фаски (CHAMFER). Способ применения.

Задача:

Изобразить винт с полукруговой головкой (рисунок 4.4)

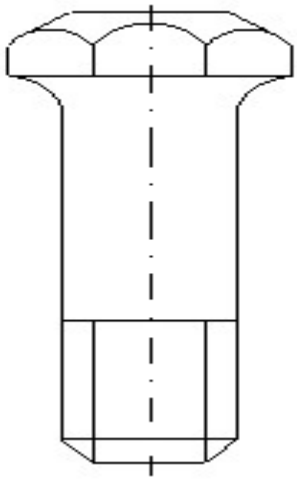


Рисунок 4.3-Болт с шестигранной головкой

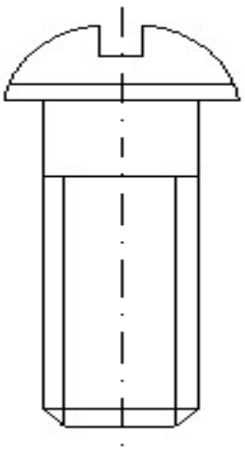


Рисунок 4.4-Винт с полукруговой головкой

**Лабораторная работа №5**

Тема: Команды общего редактирования LENGTHEN и SCALE.

Цель: Научиться работать с командами LENGTHEN и SCALE.

**Ход работы:**

опка команды Увеличить(LENGTHEN)

- первый запрос команды: выберите ответ Дельта/проЦент/Всего/

Например: _Delta (число удлинения) (Рисунок.5.1)

_Dynamic (величина удлинения указывается динамически мышкой)

Например: удлинить линию вправо на 10 мм

Рисунок 5.1- Использование функции Lengthen

выбрать объект

в командной строке: DElta, и нажать Enter

приращение длины или Угол <0…>=

+10 – в случае увеличения отрезка

-10 – в случае уменьшения отрезка

выбрать объект для измерения – левой кнопкой мыши указать на прямой ближе к тому компоненту, который нужно удлинить, и нажать Enter

Кнопка команды Масштаб(SCALE)

**Пример:**

указать базовую точку

масштабим опорный отрезок

Для увеличения объектов нужно ввести число большее 1⇒ 2; 2,5; 4; 5 (масштаб 2:1, 2:2,5; 4:1, 5:1).

Для уменьшения меньше 1⇒ ½(0.5); ¼(0.25); ⅕ (0.2) (масштабы 1:2; 1:4; 1:5)

При увеличении объекта или его уменьшении нужно учитывать масштаб при простановке размеров. Если масштаб был применен до простановки размеров, нужно настроить стиль размеров с учетом масштабного коэффициента размерного числа. Если этого не сделано, то размерное число также увеличится или уменьшится (что будет ошибкой).

**Вариант 1**

(все нечетные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Команда Увеличить(LENGTHEN) . Способ применения.

2. Масштабный коэффициент размерного числа.

Задача:

Изобразить данный чертеж (рисунок 5.2).

**Вариант 2**

(все четные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Команда Масштаб(SCALE). Способ применения.

2.Приращение длины.

Задача:

Изобразить данный чертеж (рисунок 5.3).

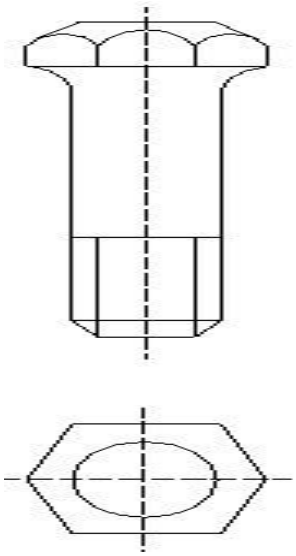


**Рисунок 5.2-Болт, вид сверху**

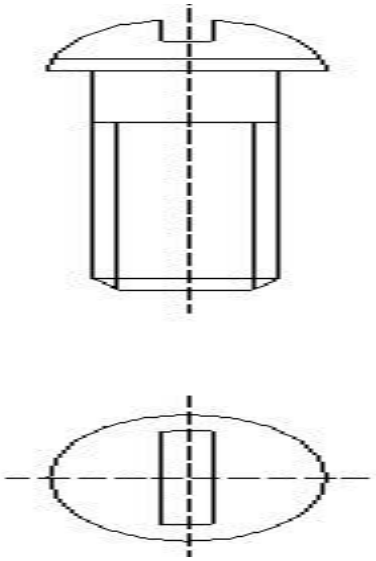


**Рисунок 5.3-Винт, вид сверху**

**Лабораторная работа №6**

Тема: Настройка размерных параметров.

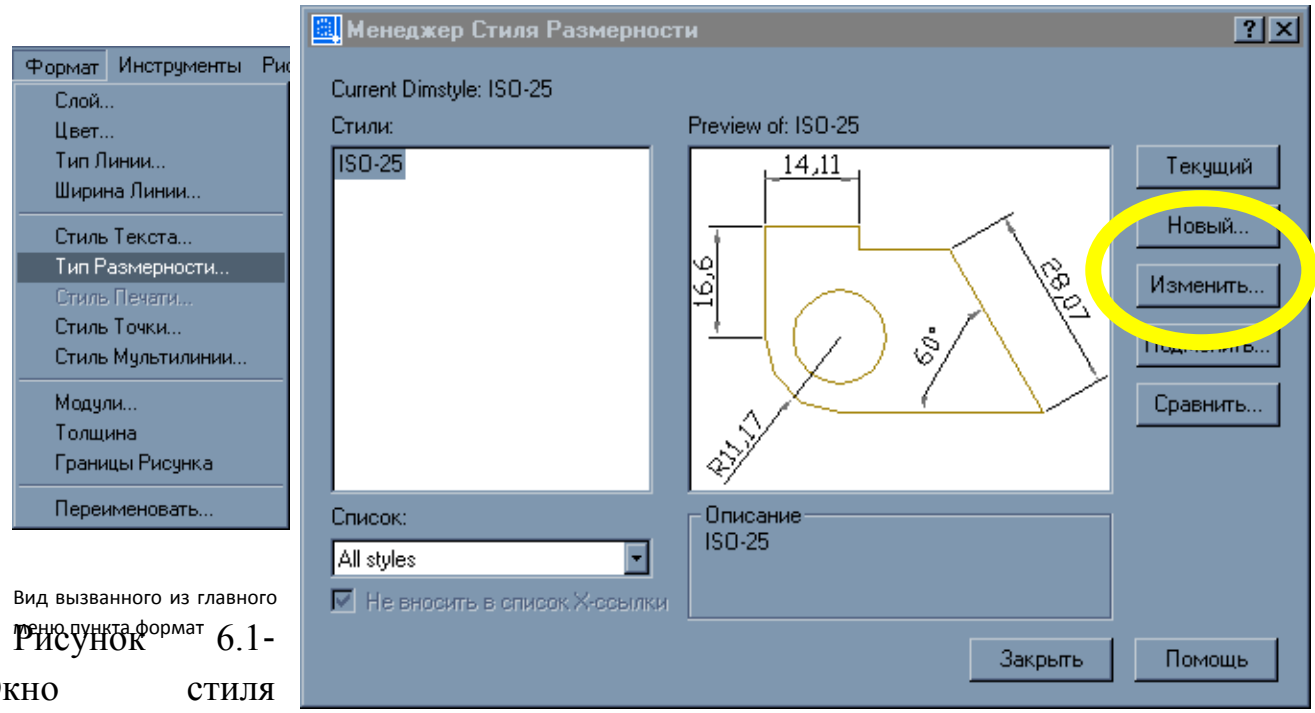
Цель: Научиться работать с размерными параметрами.

**Ход работы:**

Настройка размерных параметров.

К размерным параметрам относятся величины стрелок, размещение, шрифт размерного числа и др. Эти параметры должны соответствовать действующим стандартам: ГОСТ 2.307 – 68. Различные варианты простановки размеров требуют настройки и корректировки размерных параметров.

Возникло диалоговое окно, «путешествую» по которому, можно найти настройки всех размерных параметров.




Вид вызванного из главного меню пункта формат

Рисунок 6.1- Окно стиля размерности

Пусть, например, высота размерного шрифта (она по умолчанию 2,5 мм), стрелок и переход выносных линий за размерные оказались меньше требуемых значений в два раза. Эти параметры можно изменить одной корректировкой в

диалоговом окне размерного стиля. Для этого необходимо выполнить следующие шаги:

Modify (Изменить)/Fit (Расположение/Размещение)/Use Overall Scale of (Общий линейный масштаб/масштаб размерных элементов )/2

Ok – покинуть окно Fit/ указать Set Current (сделать текущим)/Закрыть.

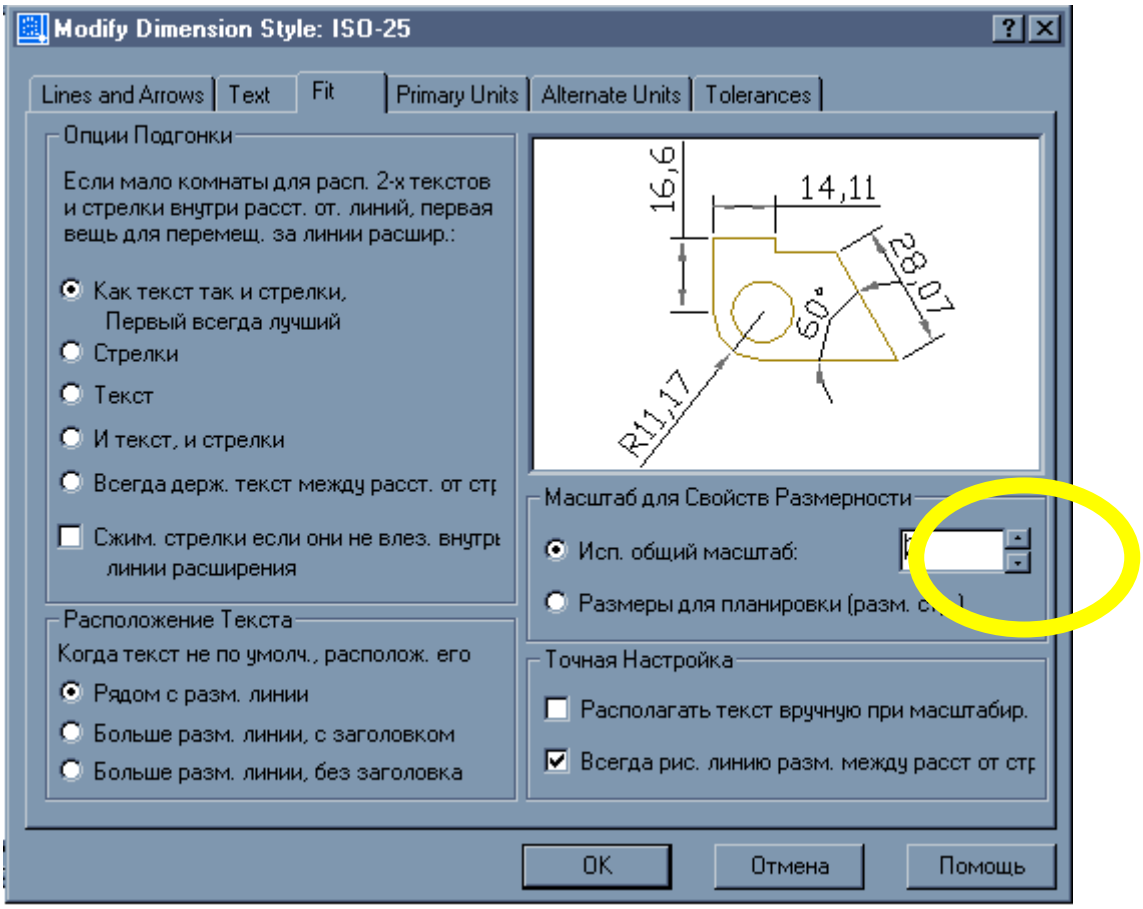



Рисунок 6.2- Изменение размерных стилей

Внесенные корректировки будут учтены при простановке новых размеров. Для внесения их в ранее проставленные размеры выполнить редактирование размеров.

Можно так же вносить изменения в размерный стиль, настраивая его:

форма и размер стрелок

расположение текста, его высота, цвет

размещение размерного числа, отступ от размерной линии

точность единиц измерения (сколько цифр после запятой)

масштаб измерения (закладка : Основные единицы)

Если перед простановкой размеров осуществлено масштабирование чертежа, то при простановке размеров это нужно учесть, чтобы размерное число было действительным.

В диалоговом окне:

См. рис. на странице ниже:

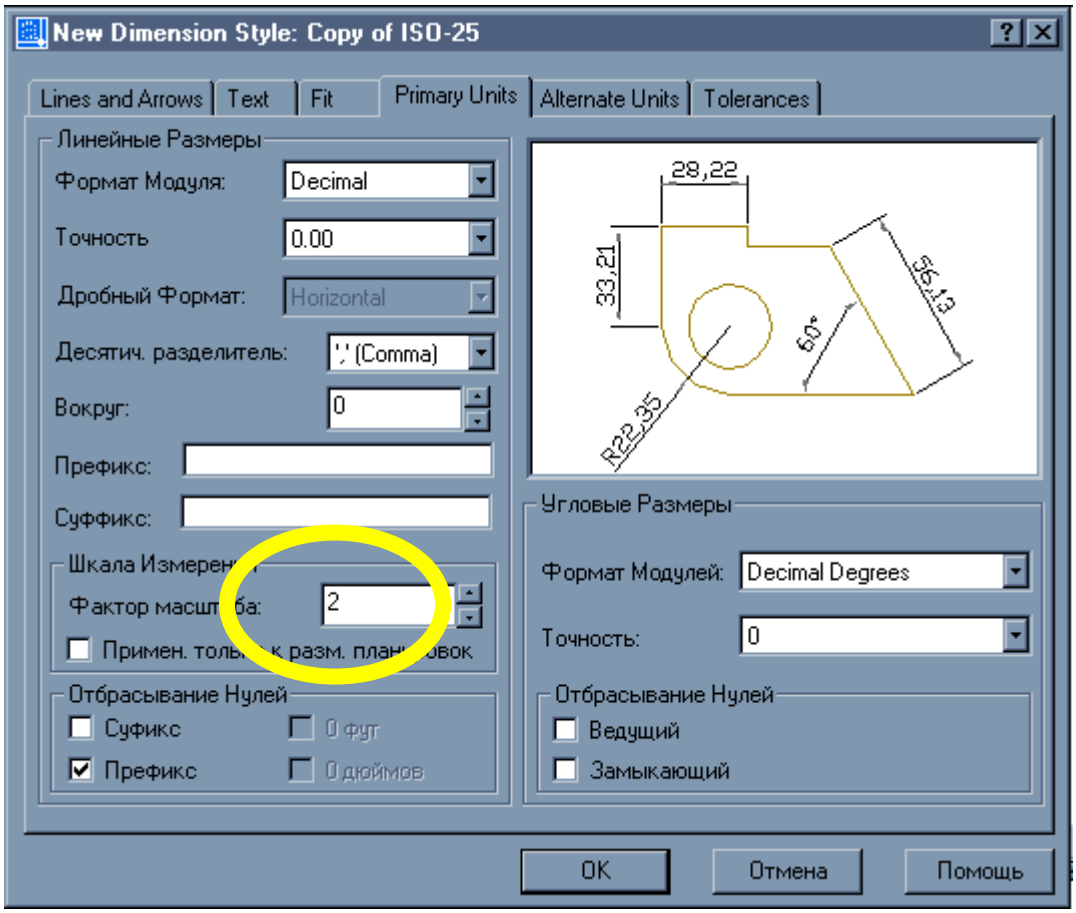



Рисунок 6.3- Новый размерный стиль.

Например:  Длина детали 200 мм, она не помещается на формате А4, после применения операции Масштаб к 0,5 деталь уменьшится в 2-а раза.

Но при проставлении размеров, размерное число также уменьшится в 2 раза. Чтобы этого не происходило нужно проставить величину масштабного коэффициента.  Как определить масштабный коэффициент? Масштаб всегда указывается в формате листа

Вычерчиваемый размер : Действительный размер

Рисунок 2. Отношение вычерчиваемого размера к действительному

В нашем случае М 1:2, а масштабный коэффициент равен $\kappa = \frac{действительный\ размер}{вычерчиваемый\ размер}$, следовательно, это отношение для нашего случая:

$$\kappa = \frac{2}{1} = 2,\ при\ М = 1:2,$$

аналогично при других значениях:

$$\kappa = \frac{1}{2} = 0,5,\ при\ М = 2:1$$

$$\kappa = \frac{1}{2} = 0,25,\ при\ М = 4:1$$

**Вариант 1**

(все нечетные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Размерные параметры должны соответствовать действующим

стандартам: ГОСТ 2.105-95

2. Внесение изменений в размерный стиль.

3.Отношение вычерчиваемого размера к действительному.

Задача:

Изобразить болт с местным разрезом в боковой части клапана (рисунок 6.4).

**Вариант 2**

(все четные номера компьютеров)

Вопросы:

1.Внесение корректировки шрифта и стрелок.

2.Основные единицы размерного стиля.

3.Если масштабный коэффициент 0.5, то размер детали на чертеже...

Задача:

Изобразить винт  с местным разрезом в боковой части клапана (рисунок 6.5).

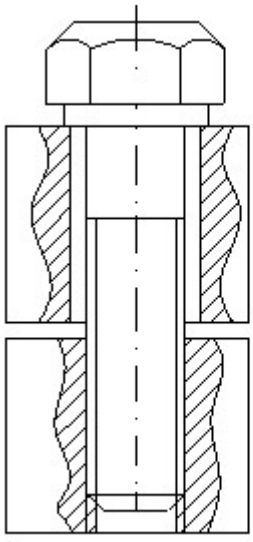


Рисунок 6.4-Болт с местным разрезом

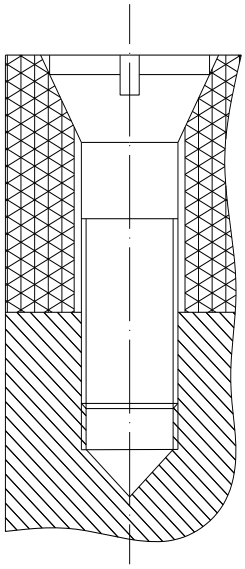


Рисунок 6.5-Винт с местным разрезом

**Лабораторная работа №7**

Тема: Настройка размерных стилей.

Цель: Научиться работать с линейными размерами.

Ход работы:

Настройка размерных стилей.

Простановка линейных размеров для контура

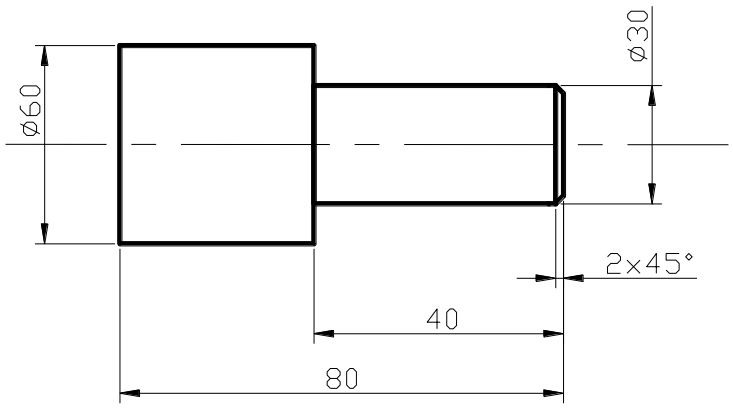



Рисунок 7.1 - Простановка линейных размеров.

Выбираем из падающего меню Размеры или кнопок панели инструментов «Размеры»

Первая команда Dimension/Linear(Размер/Линейный)

Кнопка команды.

Результат: возникло сообщение «Определите начало первой выносимой линии размера» или «Select object». Сейчас возможны два варианта действий. В первом нужно указать точки, между которыми проставляем размер; во втором варианте требуется указать элемент, для него система сама выделит

характерный размер – расстояние между концами отрезка, радиус или диаметр дуги или круга.

Рассмотри второй вариант:

нажать клавишу Enter или правую кнопку мыши

указать прицелом отрезок контура длиной 40 мм

Результат: На экране отслеживается размер, в командной строке выведен перечень опций

задать опцию Text (ввести t)

Результат: возникло сообщение «Текст размера <40.00>», которым система просит указать размерное число и одновременно показывает вам его значение.

Сейчас вновь возможны 2-а варианта действий:

можно принять подсказку, правой кнопкой мыши, - текст в угловых скобках будет проставлен в качестве размерного числа.

Можно задать любое другое значение, введя его с клавиатуры.

Если принята подсказка, то форматируется так называемый «ассоциативный» размер, размерное число которого изменится при масштабировании вместе с изображением или при редактировании размера. Если число введено с клавиатуры, оно остается неизменным при изменениях объекта (увеличении или уменьшении). В основном будем применять второй вариант, т. е. посмотрим подсказку, но введем нужное число.

В частности, при этом, можно скомпенсировать неточности построений.

Введем нужное число (например, 40).

Перемещая курсор, задать щелчком нужное положение размерной линии.

Вариант 1

(все нечетные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Линейный размер на панели инструментов.

2. Определение линейного размера по элементу.

Задача:

Изобразить клапан, проставить линейные размеры на всех элементах такого рода (рисунок 7.2).

Вариант 2

(все четные номера компьютеров)

Вопросы:

1.Линейный размер в падающем меню.

2.Определение линейного размера по точкам.

Задача:

Изобразить колпак пускового клапана, проставить линейные размеры на всех элементах такого рода (рисунок 7.3).

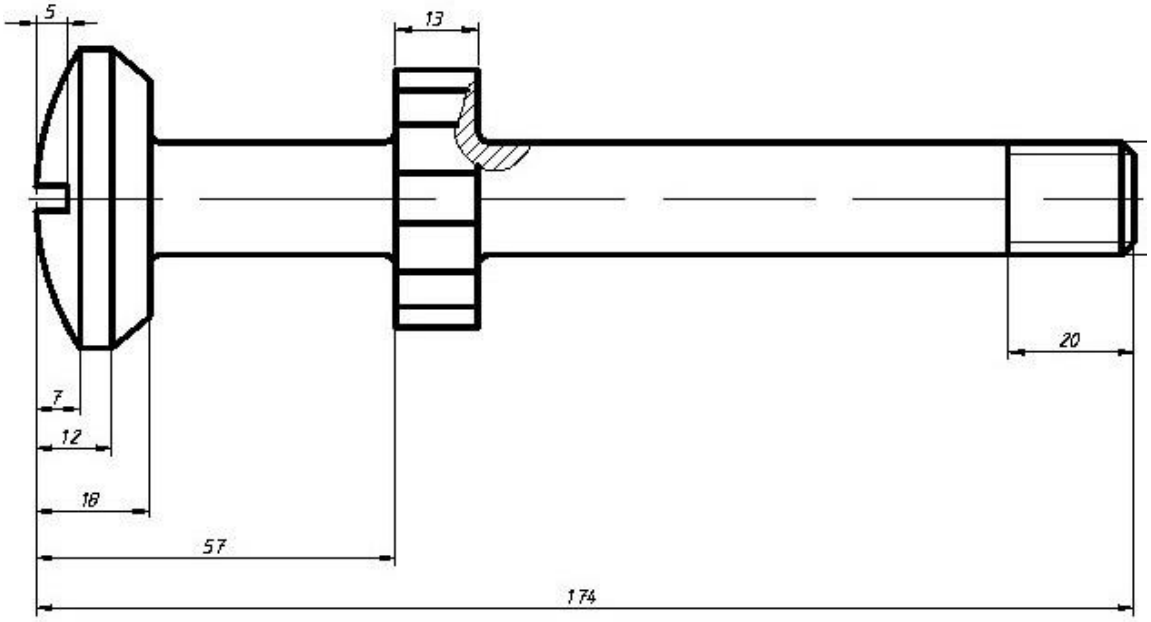



Рисунок 7.2-Клапан

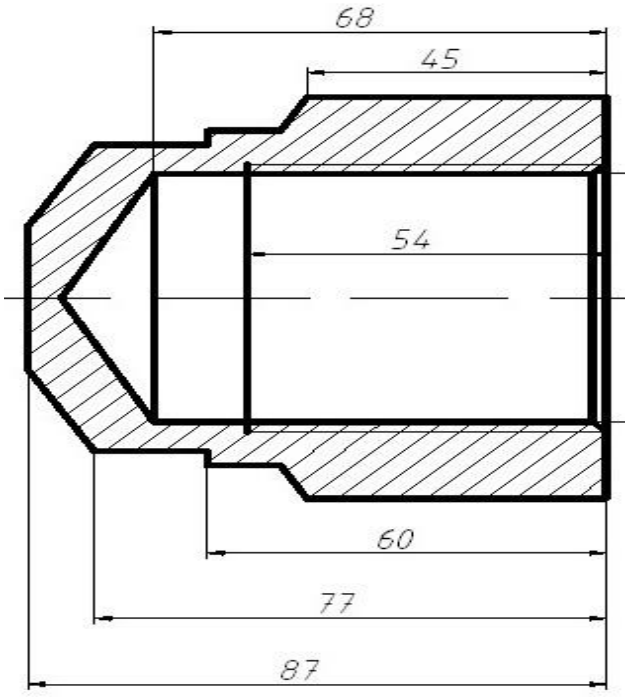



Рисунок 7.3-Колпак пускового клапана

**Лабораторная работа №8**

Тема: Настройка размерных стилей.

Цель: Научиться работать с размерами окружностей.

**Ход работы:**

Диаметр и радиус окружности.

Dimension ⇒ Diameter ⇒ указать окружность ⇒ t – в ответ на предложение системы о величине размера ввести %%c40 – здесь %%c является кодировкой знака диаметр ∅ [∅40]

указать положение размерной линии (Подобным образом можно поставить размер радиуса дуги)

завершить простановку размеров детали.

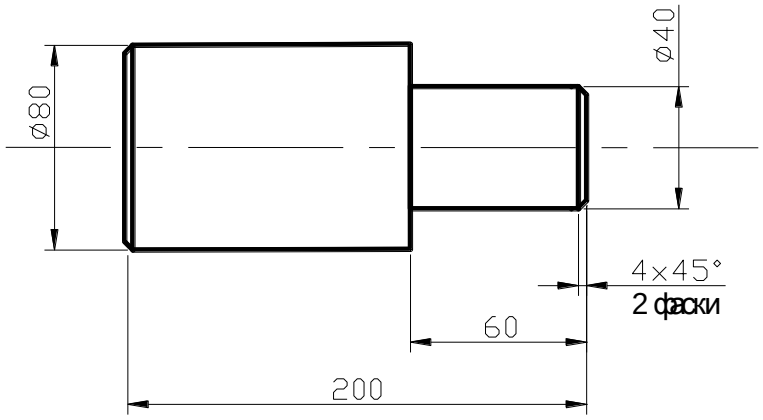



Рисунок 8.1-Пример простановки диаметров.

Простановка размеров фаски.

указать положение первой и второй выносной линии

набрать с клавиатуры t, и нажать Enter

ширина фаски <4> - зона в скобках, если мы согласны, то указать

4x45%%d\X2 фаски

указать положение размерной линии, и нажать Enter

Если надпись под чертой: например %%c20\X2 отв.

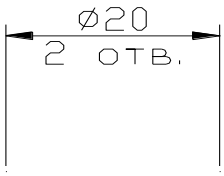



Рисунок 8.2-Пример простановки размеров.

**Вариант 1**

(все нечетные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Пример простановки диаметров.

2. Пример простановки радиуса дуги.

Задача:

Изобразить клапан с проекцией, проставить  все требуемые размеры (рисунок 8.3).

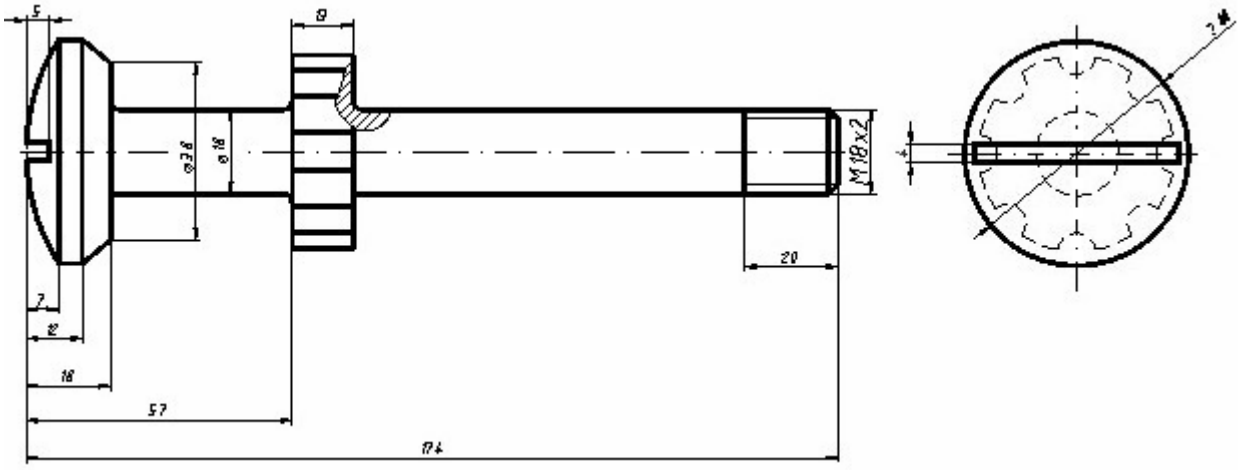



Рисунок 8.3-Клапан, вид сверху

**Вариант 2**

(все четные номера компьютеров)

Вопросы:

1.Пример простановки размера фаски.

2. Пример простановки радиуса окружности.

Задача:

Изобразить колпак пускового клапана с проекцией, проставить все требуемые размеры (рисунок 8.4).

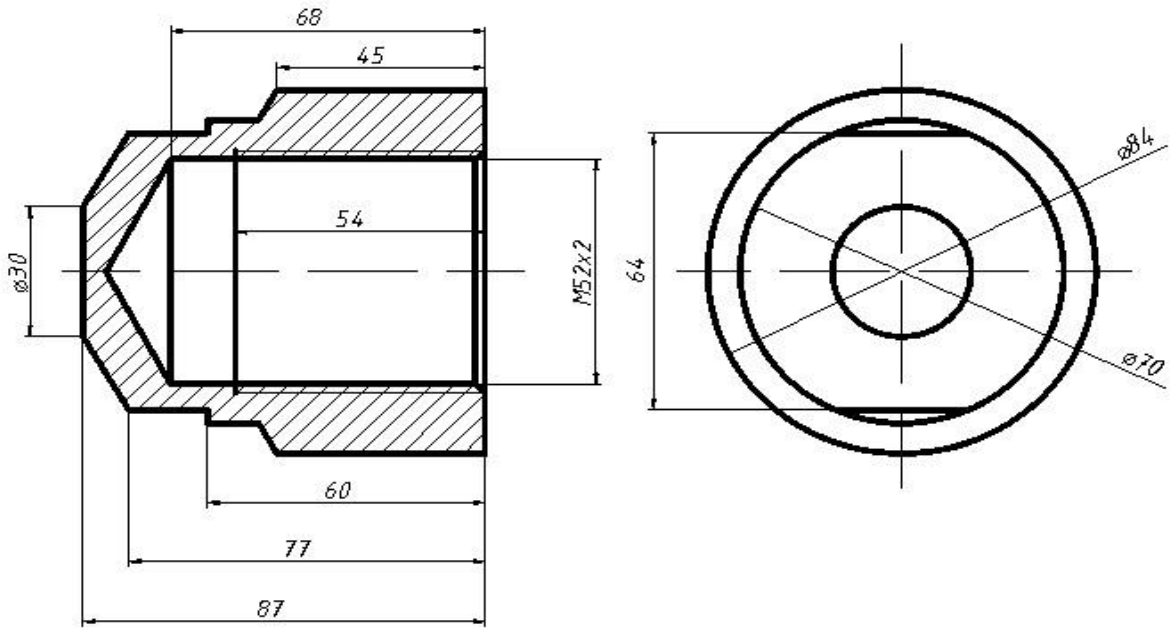



Рисунок 8.4-Колпак пускового клапана, вид сверху

**Лабораторная работа №9**

Тема: Редактирование размеров.

Цель: Научиться изменять размерные параметры.

**Ход работы:**

Редактирование размеров.

Изменить размерные параметры

пример, величину стрелок, шрифта и др.

Выполнить корректировку размерных параметров Dimension\Style

Dimension ⇒ Update(обновить) ⇒ указать редактируемые размеры (можно размеры выбрать рамкой, не обращая внимание на попадающие в рамку другие объекты, можно ввести all, т. е. все.

Изменить размерный текст.

Например, изменим значение размера 200 на 195

Modify(Изменить) ⇒ Text ⇒ указать редактируемый размер [1] ⇒ в возникающем окне текстового редактора ввести новый текст ⇒ Ok – покинуть редактор ⇒ правой кнопкой мыши прервать команду.

Изменить положение размера. Перенести точку его простановки. Место размерного числа.

Этот вид редактирования эффективно осуществляется с помощью «ручек»:

Указать какой – либо размер: возникнут «ручки».

Указать нужную ручку и переместить ее в новое положение.

Текст.

[1] Команда вначале указывает выбрать редактируемый размер, а затем запрашивает его новое положение. Размерный текст может быть перенесен в любое место между выносными линиями или помещен вне их.

Надписи на графическом экране могут быть созданы с помощью команды Текст из падающего меню Редактирование или команд Мтекст, Дтекст из экранного меню Рисунок (рисунок.9.1)

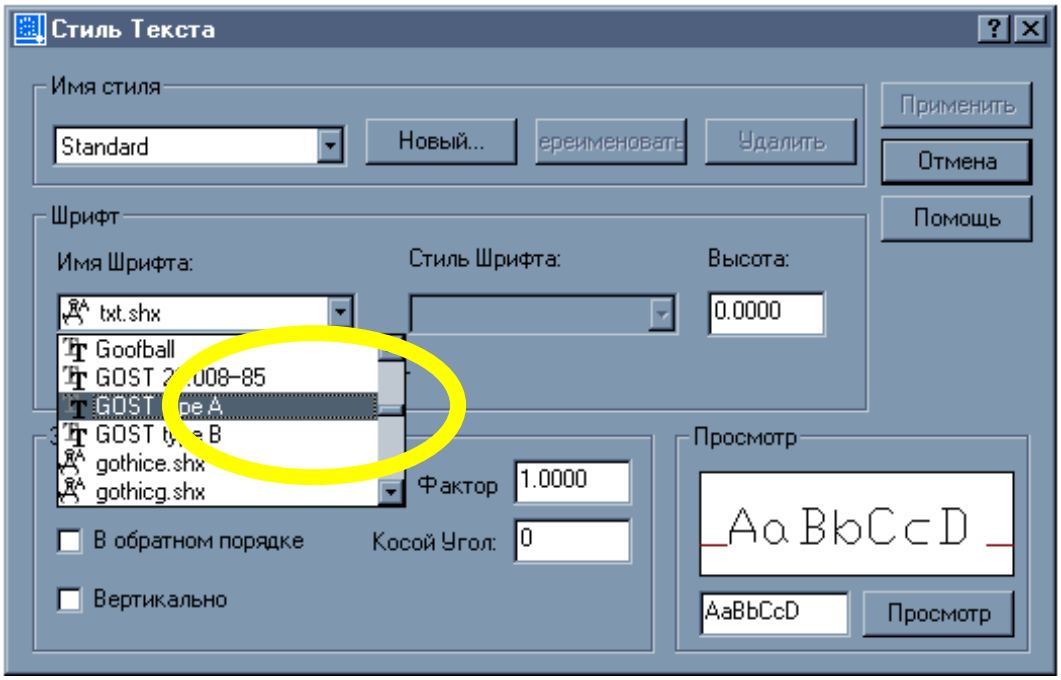



Рисунок 9.1-Окно стиля текста.

Прежде чем написать какой-либо текст, надо выбрать стиль текста. В падающем меню Формат активизируем команду Текстовые стили. Появляется диалоговое окно Текстовые стили.

Имя стиля сохраняем Standard. Из имен шрифтов выбираем с помощью прокрутки Gost type A.shx. В окне Угол наклона набираем с клавиатуры величину угла 15° от нормали к основанию текста по часовой стрелке. В окне Высота устанавливаем высоту шрифта 0. Это значит, что при написании какого-либо текста система будет запрашивать требуемую высоту текста. Назначаем степень растяжения знаков 0,8. Завершаем выбор нажатием на кнопку Применить или Закрыть.

В AutoCAD можно набирать текст в 3-х вариантах (слева направо): Динамический текст, Однострочный текст и Многострочный текст (мультитекст).

Динамический текст наиболее удобен при написании текста в любых выбранных местах графического экрана. При наборе текста с клавиатуры он сразу просматривается на графическом экране.

Однострочный текст, при наборе с клавиатуры, виден только в зоне командных строк. Только после завершения набора с помощью клавиши Enter текст появляется на экране.

Многострочный текст позволяет набирать длинный текст. Эта команда обладает такими же возможностями, как и Microsoft Word.

Рассмотрим команду текст. После обращения к этой команде система делает запрос:

_text Выравнивание/Стиль/<Начальная точка>:

Выбираем на графическом экране начальную точку текста. Система делает запрос на высоту текста:

Высота <10>: (В угловых скобках указана высота текста применительно к заданным буквам. Если эта высота нас устраивает, то нажмите Enter; если нет, то назначаем с клавиатуры нужную высоту текста).

Система делает запрос на угол поворота текста относительно оси x.

Угол поворота <0>: (Подтверждаем клавишей Enter, что текст будет располагаться горизонтально).

Система предлагает набрать нужный текст:

Текст: (Набираем с клавиатуры).

Если после набора текста от 1-ой выбранной точки провести курсор мыши в новое место графического экрана и нажать на левую кнопку мыши, то от этой точки можно набирать новый текст и т. д.

Нажатие на клавишу Enter один раз приводит к переходу текста на новую строку, в который 1-й символ находится под 1-м символом предыдущей строки.

Нажатие на клавишу Enter два раза приводит к завершению работы с текстом.

Если в тексте нужно добавить знаки, например ∅, ° и др. знаков необходимо использовать следующие управляющие коды:

%%n –вставка символа процента, %.

%%O – включение, выключение надчеркивания.

%%U – включение, выключение подчеркивания.

%%d – вставка символа углового градуса, °.

%%c – вставка символа диаметра, ∅.

%%p – вставка символа плюс/минус, ±.

Отсутствие выравнивания дает возможность выбрать другой вариант привязки надписи к чертежу.

**Вариант 1**

(все нечетные номера компьютеров)

Вопросы:

1. Изменение размерного текста.

2. Многострочный текст.

Задача:

Изобразить фланец, проставить все требуемые размеры (рисунок 9.2).

**Вариант 2**

(все четные номера компьютеров)

Вопросы:

1.Изменение положения размера.

2. Текстовые стили.

Задача:

Изобразить фланец РМШ, проставить все требуемые размеры (рисунок 9.

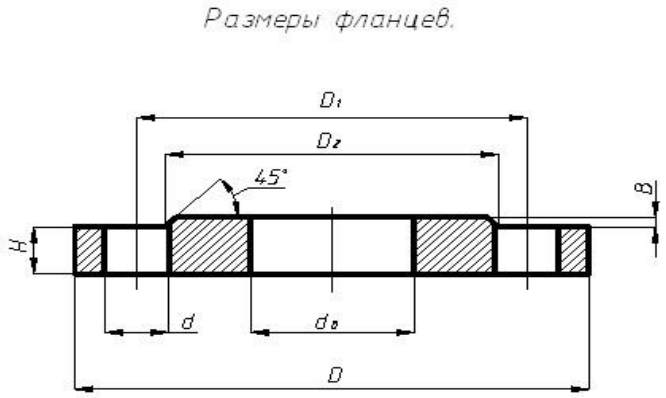



Рисунок 9.2-Фланец

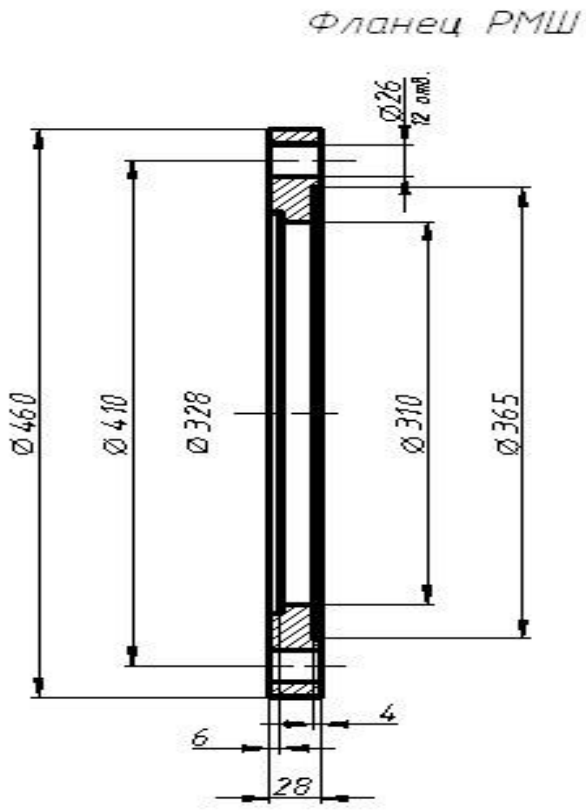



Рисунок 9.3-Фланец РМШ

**Лабораторная работа №10**

Тема: Редактирование размеров.

Цель: Научиться изменять размерные параметры.

**Ход работы:**

Редактирование текста.

Для редактирования надписей в панели Редактирование 2(Modify II) предусмотрена кнопка Редактирование текста и пункт Текст падающего меню редактирования (или изменения), которые вызывают команду Диалред(DDEDIT).

Команда запрашивает:

Выберите пункт:  или [Отмена]

Если указать однострочный тест, то появляется диалоговое окно: редактирование текста. В выделенном поле Текст нужно внести необходимые изменения и нажать на кнопку Ok.

Еще одно удобное средство редактирования однострочных текстов – команда Изменить(Change), вводимая с клавиатуры. Она позволяет изменить любые параметры надписи:

Первый запрос – выберите объекты,  нажмите Enter.

Точка изменения или свойства, нажмите Enter.

Новая точка, вставка текста <не изменять> - если текст перемещать не надо, то нажать Enter.

Новый текстовый стиль <Standard> - если не хотите менять стиль – то Enter.

Новая высота <7>, введите новую высоту, набрав число с клавиатуры <5>, Enter.

Новый угол поворота <0>, Enter.

Новый текст:, Enter.

**Вариант 1**

(все нечетные номера компьютеров)

Вопросы:

Редактирование однострочного текста.

Задача:

Изобразить чертеж (рисунок 10.1).

**Вариант 2**

(все четные номера компьютеров)

Вопросы:

Редактирование многострочного текста.

Задача:

Изобразить чертеж (рисунок 10.2).

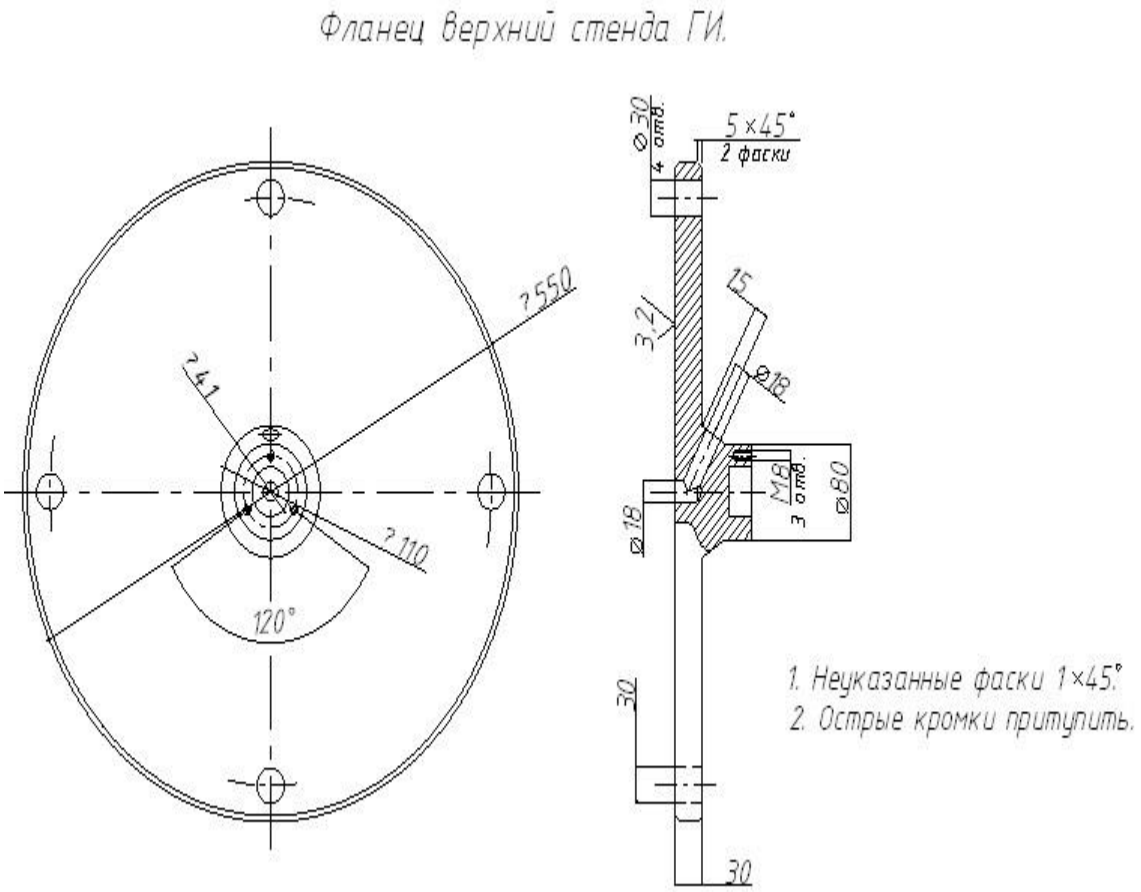
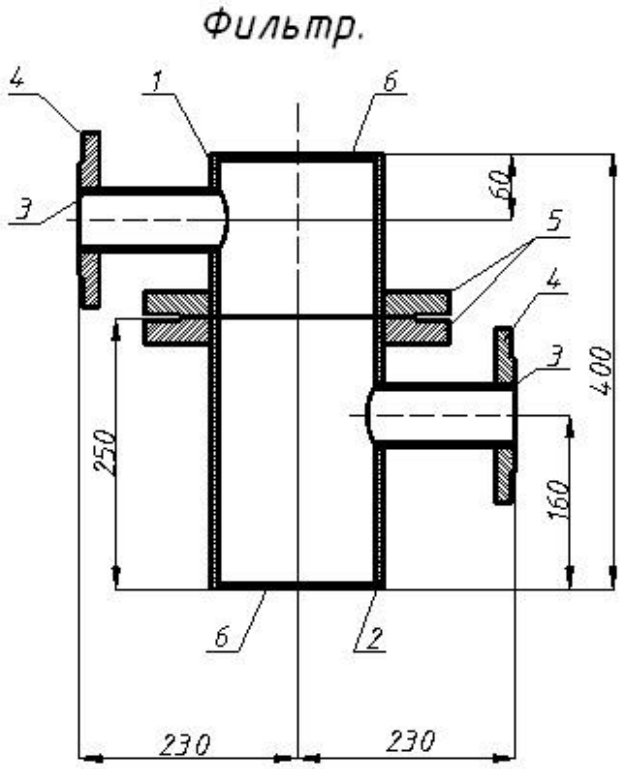



Рисунок 10.1-Фланец верхний стенда ГИ




| №поз. | Наименование | Размер | Количество |
|---|---|---|---|
| 1 | Труба | ⌀220 ×10 | 150 мм |
| 2 | Труба | ⌀220 ×10 | 250 мм |
| 3 | Труба | ⌀57 ×4 | 2×130 мм |
| 4 | Фланец | Ду-50мм | 2 шт |
| 5 | Фланец | Ду-200мм | 2 шт |
| 6 | Донышко | ⌀198 ×5 | 2 шт |

Рисунок 10.2-Фильтр

# 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ

**Лабораторная работа №1**

Тема: Выдавливание

Выберите вид Спереди на панели Виды

Выберите команду Линия . Проведите произвольно горизонтальную и вертикальную оси.

Выберети команду Круг . Щелкните в пересечении осей и введите радиус 30 Enter.

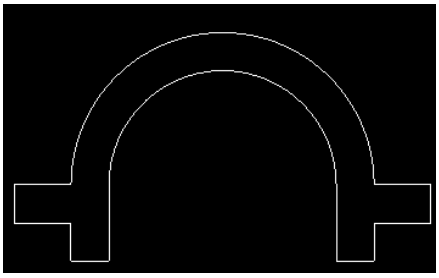
Повторите команду Круг . Щелкните в пересечение осей и введите радиус 40 Enter

Выберите команду Линия . Щелкните первую точку по привязке
Далее вводим с клавиатуры
@-15,0Enter
@0,-10Enter
@15,0Enter
@0,-10Enter
@10,0Enter
@0,20 Enter

Выберите команду Обрезать . Выделите горизонтальную ось, нажмите Enter. Щелкните по нижним частям окружностей R30 и R40, нажмите Enter.

Выберите команду Зеркальное отражение . Выделите все элементы, кроме осей, нажмите Enter. Первая точка – верхняя точка вертикальной оси, вторая точка – нижняя точка вертикальной оси, нажмите Enter.

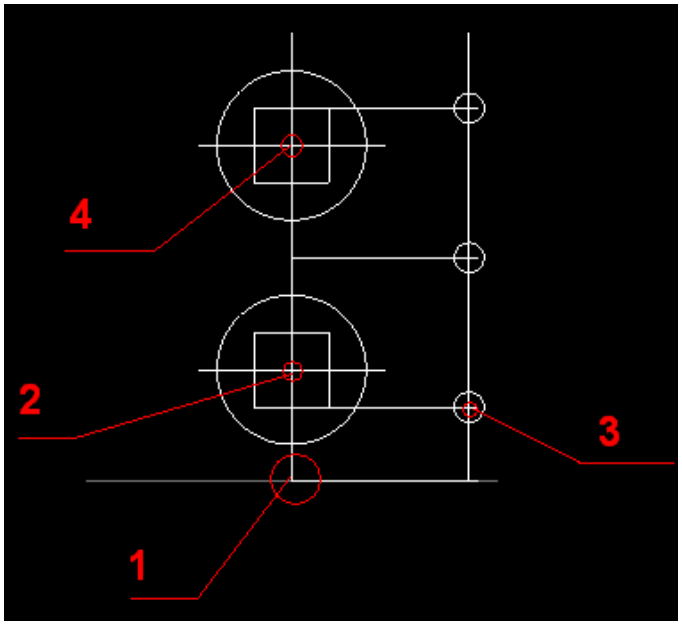
Выделите оси и нажмите Delete. В итоге получиться такой контур:



Выберите команду Рисование – Область. Выделите все объекты и нажмите Enter.

Выберите команду Линия . Щелкните в верхнюю точку контура. В командной строке введите @50,0 и нажмите Enter.

Выберите вид Сверху на панели .




Выделите полученную линию и выберите команду Копировать. Щелкните в любом месте чертежа. Введите
@0,30 Enter
@0,90 Enter
Нажмите Enter

Выделите полученные оси и выбелите команду Перенести. Щелкните в любом месте чертежа для указания базовой точки переноса. Введите @-25,0 Enter.

Выделите линию полученную в шаге 9 и выберите команду Копировать. Щелкните в любом месте чертежа. Введите:
@0,20 Enter
@0,60 Enter
@0,100 Enter
Нажмите Enter

Выберите команду Линия .
Щелкните в точке 1. Введите @0,120 Enter. Нажмите Enter для завершения команды.

Выделите полученную вертикальную ось и выберите команду Копировать . Щелкните в любом месте чертежа для указания базовой точки. Введите @47.5,0 Enter. Нажмите Enter для завершения.

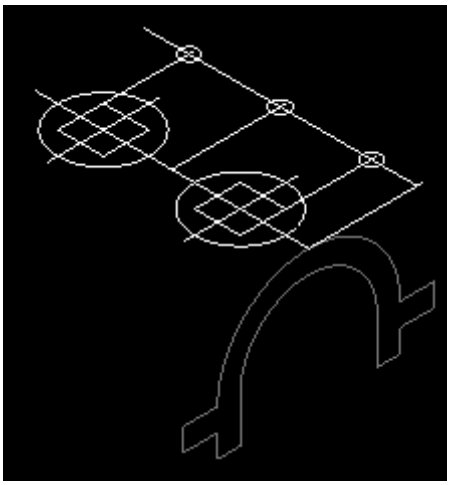
Выберите команду Круг . Щелкните в точке 2 и введите радиус 20 Enter.

Повторите команду Круг . Щелкните в точке 3 и введите радиус 4 Enter

Выберите команду Многоугольник . Нажмите Enter
Щелкните в любом месте чертежа и выберите из меню Описанный около окружности
Введите радиус окружности 10 и нажмите Enter.

Выберите команду Копировать .
Выделите окружность R20 и квадрат, проведенные из точки 2 и нажмите Enter.
Щелкните левой кнопкой мыши в точке 2 для указания базовой точки копирования.
Щелкните в соответствующее пересечение осей в точке 4

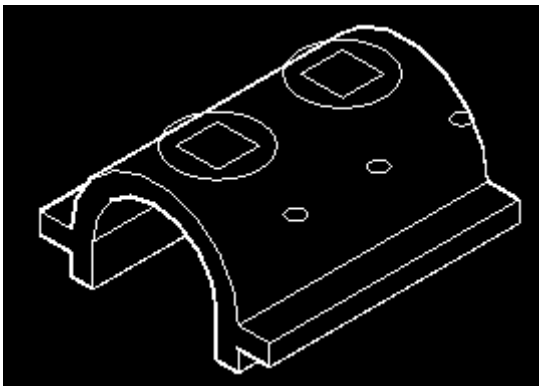
Выберите команду Копировать .
Выделите окружность R4, проведенные из точки 3 и нажмите Enter.
Щелкните левой кнопкой мыши в точке 3 для указания базовой точки копирования.
Щелкните в соответствующие точки пересечения осей для правильного расположения копий. Для завершения копирования нажмите Enter.



Выделите на разметке оси и нажмите клавишу Delete.

Выберите вид Спереди на панели виды

На панели инструментов нажмите кнопку Выдавить.
Выделите передний профиль детали, полученный в шаге 7. Нажмите Enter.
Введите -120 Enter
Перейдите на изометрический вид и проверьте, у Вас должно получиться следующее



Выберите команду Перенести
Выделите большие окружности и квадраты и нажмите Enter
Щелкните в любом месте чертежа
Введите @0,0,15 и нажмите Enter

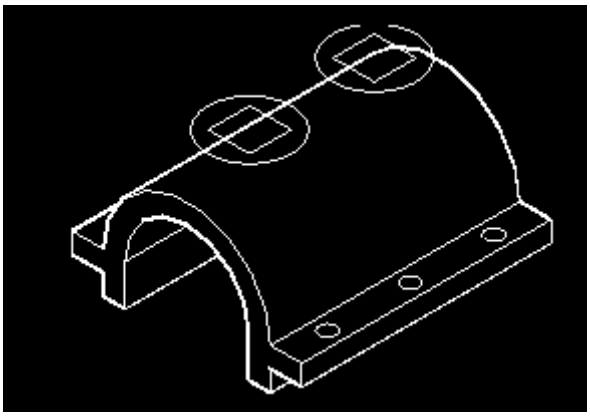
Повторно команду Перенести
Выделите 3 маленькие окружности и нажмите Enter.
Щелкните в любом месте чертежа
Введите @0,0,-40 Enter

Перейдите на вид Сверху

На панели инструментов нажмите кнопку Выдавить
Выделите большие окружности и квадраты и нажмите Enter
Введите высоту -50 и нажмите Enter

Повторите команду Выдавить. Выделите 3 маленькие окружности и нажмите Enter. Введите высоту -10 и нажмите Enter. Перейдите на изометрический вид и

проверьте, у Вас должно получиться следующее



Перейдите на вид сверху. Выберите команду Зеркальное отражение.
Выделите тела 1 и нажмите Enter. Щелкните в точке 2, а затем в точке3, указав ось отражения. Нажмите Enter.

На панели выберите команду Вычесть
Выделите тела 1 и 3 и нажмите Enter
Выделите тела 2 и 4 и нажмите Enter

Перейдите на вид спереди. Выберите команду Круг
Щелкните в точке 1, введите радиус 30 и нажмите Enter

Нажмите команду выдавить. Выделите полученную окружность и нажмите Enter
Введите высоту выдавливания -120, 2 раза нажмите Enter

Выберите команду Вычесть. Выделите ранее полученную деталь и нажмите Enter
Выделите цилиндр, полученный в шаге 30 и нажмите Enter

**Лабораторная работа №2**

Тема: Камень

Перейдите на спереди. Выберите команду Ящик

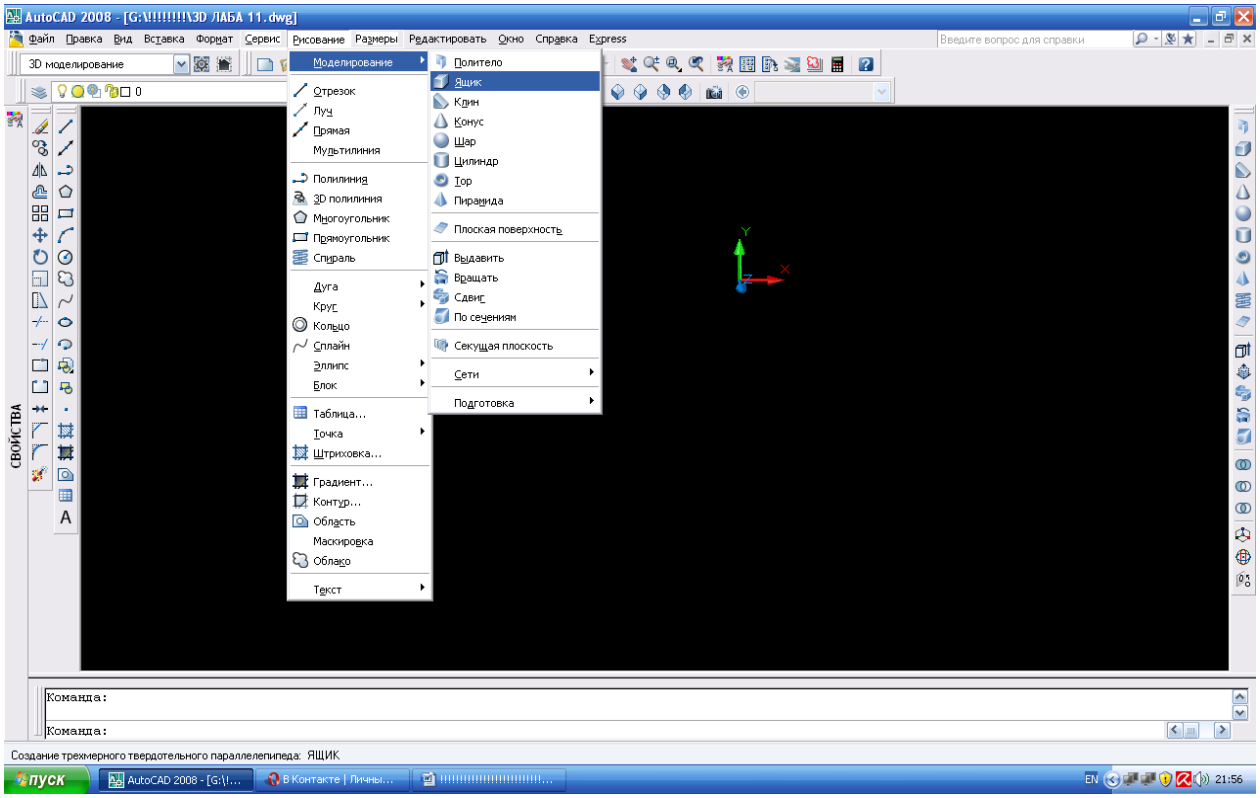



Рисунок 1 – Выбор команды «ящик»

- Щелкните в любой точке чертежа.

- Введите размеры: @100,50,50

2. Перейдите на изометрический вид .

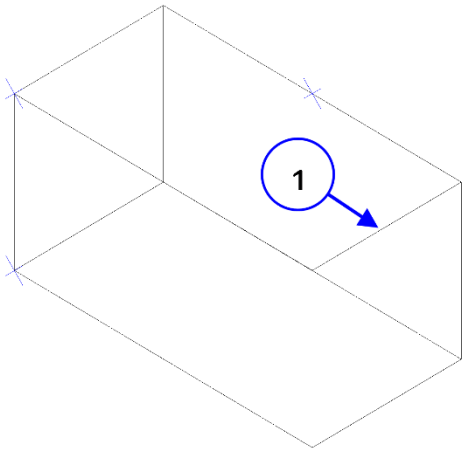



Рисунок 2 – Изометрический вид

Выберите команду Разрез (Редактировать-3D операции-разрез)

- Выделите коробку, нажмите Enter.

- Щелкните последовательно три точки x (рисунок 2)

- Щелкните точку 1 (рисунок 2) для указания той части объекта, которая останется. Другая часть удалится.

3. Выполните произвольный поворот рабочей области при помощи команды 3D Вращение .

Примечание: при выполнении команды РАЗРЕЗ могут возникнуть затруднения. Для устранения данной проблемы советуем Вам перейти на вид сверху и отметить те же самые точки.

4. Выберите команду Разрез .

- Выделите объект, нажмите Enter.

- Щелкните последовательно три точки x (рисунке 3)

- Щелкните точку 1 (рисунок 3)

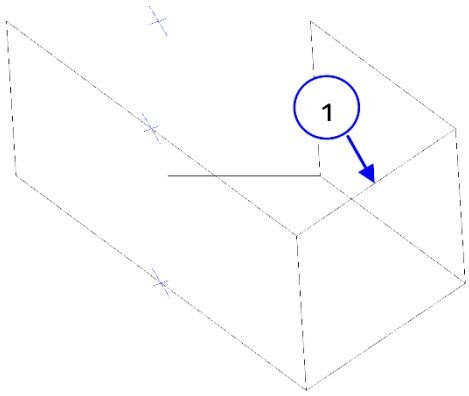



Рисунок 3 – Команда Разрез

Перейдите на вид спереди .

Немного поверните рабочую область при помощи команды 3D Вращение .

5. Выберите команду РАЗРЕЗ - Выделите объект, нажмите Enter.

- Щелкните последовательно три точки x (рисунок 4)

- Щелкните точку 1 (рисунок 4)

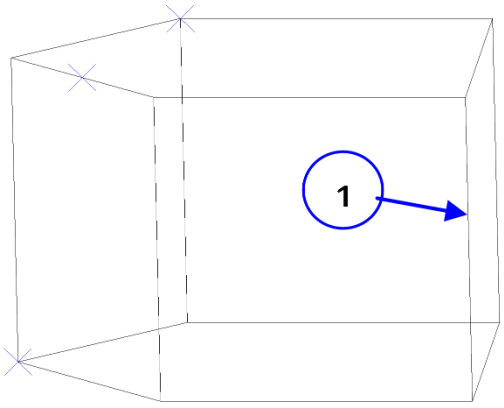



Рисунок 4 – Команда Разрез для второй части

6. Выберите команду Разрез

- Выделите объект, нажмите Enter.

- Щелкните последовательно три точки x (рисунок 5)

- Щелкните точку 1 (рисунок 5)

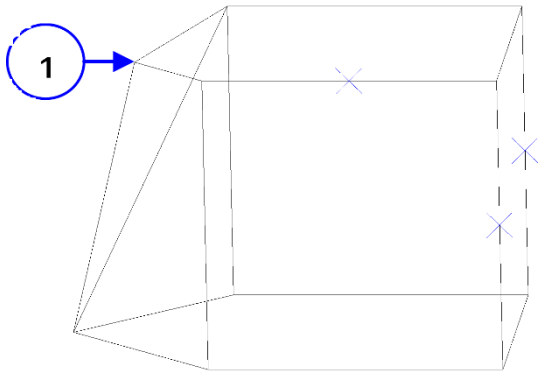



Рисунок 5 – Выполнение команды Разрез

Вы получите объект, изображенный на рисунке 6

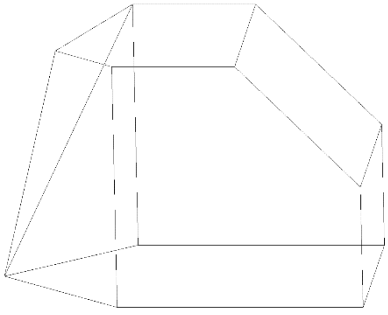


Рисунок 6 - Последнее выполнении команды Разрез

7. Выберите команду СОПРЯЖЕНИЕ .

- Выделите объект, Enter

- Введите радиус: 3 и нажмите Enter.

- Выделите щелчками мыши все ребра, нажмите Enter.

8. Перейдите на вид сверху .

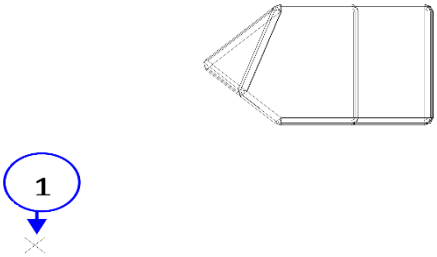



Рисунок 7 – Вид сверху

Выберите команду Ящик

- Щелкните в точке 1 (рисунок 7).

- Введите размеры: @200,200,5

9. Перейдите на вид справа .

- При помощи команды перенести (при включенном режиме ОРТО) расположите камень на подставке.

- Выберите команду КОПИРОВАТЬ (COPY)

Выделите подставку и нажмите Enter. Щелкните в точке 1 (рисунок 8) для указания базовой точки копирования, затем щелкните в точке 2 (рисунок 8) для указания конечной точки копирования.

- Выберите команду ПОВЕРНУТЬ

- Щелкните в точке 2 (рисунок 8) по привязке конечная точка.

- Введите угол поворота: 90 и нажмите Enter.

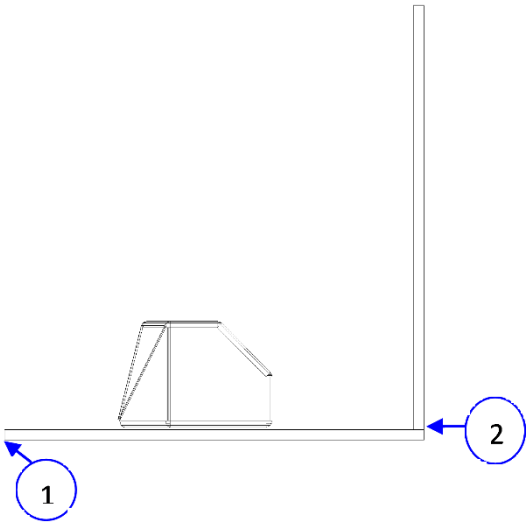



Рисунок 8 – Вид справа

10. Перейдите на вид сверху.

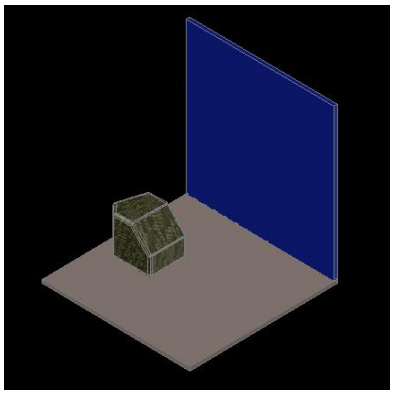
Сейчас будем тонировать наш камень, а также поверхность на которой он стоит и плоскость, перпендикулярную исходной плоскости.

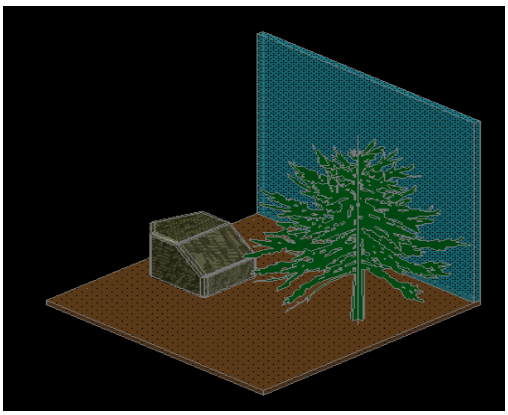
Для назначения материала нажмите вкладку Вид-Тонирование-Материалы.

Создаем новый материал и назначаем его для объектов.

Примечание: для плоскостей желательно назначить материал – картинку из вашего компьютера. А рядом с камнем нужно расположить ель, шарики и др. имеющиеся объекты, ранее построенные в 3D.

Примеры выполненных работ:





**Лабораторная работа №3**
Тема: «Кристалл»

Перейдите на вид спереди (кнопка на панели инструментов View/Виды).

Выберите команду Box (коробка) на панели Solids (Тела).

- Щелкните в любой точке чертежа.

- Введите с клавиатуры @50,50,50 Enter.

Выберите команду Rotate (поворот).

Щелкните в любой точке на ребре куба (центр поворота)

Введите угол поворота: 15 Enter

Перейдите на вид справа.

Выберите команду Rotate (поворот).

- Щелкните в любой точке на ребре куба (центр поворота)

- Введите угол поворота: 15 Enter

6. Перейдите на вид сверху.

7. Выберите команду МАССИВ (ARRAY).

- Выберите тип массива Polar Array (Круговой массив).

- Щелкните по кнопке Center Point (Центральная точка) и щелчком мыши укажите точку 1, рисунок. 1.

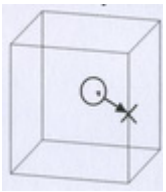


Рисунок 1. – Указать точку

- Щелкните по кнопке Select Objects (Выберите Объекты), выделите куб и нажмите Enter.

- В поле Total numbers of items (Общее количество элементов) введите 6

- В поле Angle to fill (Угол заполнения) введите 360

- Нажмите ОК.

8. Выберите команду Interseet (Пересечение) на панели Solids Editing (Редактирование тел). Выделите весь полученный массив и нажмите Enter.

9. Перейдите на вид спереди.

Выберите команду Rotate (поворот).

- Щелкните в точке 1 рис. 2 по привязке Endpoint (конечная точка)

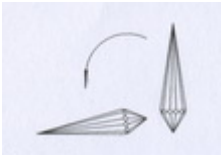


Рисунок 2 – Поворот кристалла.

- Отключите режим Ortho и выполните произвольно поворот, чтобы «положить» кристалл. Для завершения поворота щелкните правой кнопкой мыши.

10. Перейдите на вид сверху.

Выберите команду Cylinder (Цилиндр) на панели Solids (Тела).

- Щелкните в точке 1 (рисунок.3) – центр цилиндра

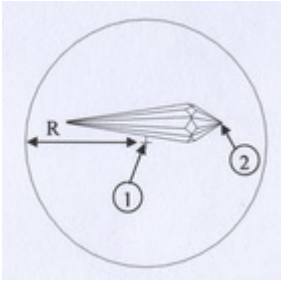



Рисунок 3 – Центр цилиндра

- Второй щелчок мыши укажет радиус цилиндра (задавайте произвольно, чтобы получилась подставка для кристалла)

- Введите высоту цилиндра: 3 и нажмите Enter.

11. Перейдите на вид спереди и проверьте взаимное расположение тел. Если необходимо, примените команду Move (Перенос), чтобы расположить кристалл на подставке. При переносе должен быть включен режим ORTHO, иначе Вы получите неожиданные результаты при переносе в 3D.

12. Выберите команду Materials (материалы) на панели инструментов Render (Тонирование) (Тонирование). Создайте материал для кристалла. Для этого выберете в шаблонах материал «Стекло-полупрозрачное», далее задайте цвет светло-голубой.

Отрегулируйте параметры:

Блеск; непрозрачность; коэффициент преломления; степень прозрачности.

Создайте свой материал для цилиндра.

13. Настроим освещение.

Перейдите на вид сверху.

Выберите команду Lights (Освещение) на панели Render (Тонирование). Выберите тип лампы Spotlight (Новый прожектор). Задайте положение источника света. Задайте положение цели в точке 2 (рисунок 2). В открывшемся окне введите изменяемые параметры:

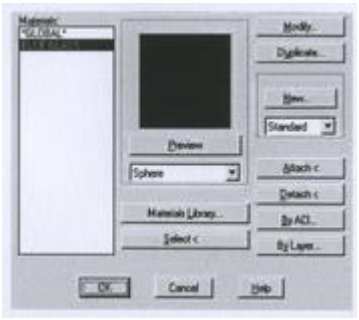


Рисунок 4 – Изменяемые параметры источника света

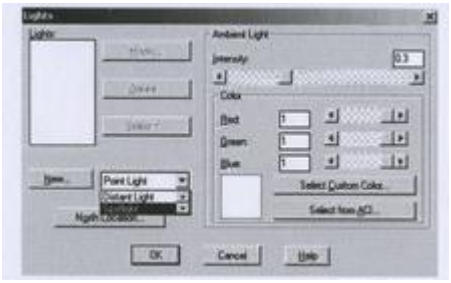


Рисунок 5 – Изменяемые параметры прожектора

- имя прожектора (LightName):1

- Intensity (Интенсивность): 200

- Тени вкл.

14. Выберите команду MIRROR (Зеркало). Первая точка оси по привязке CENTER (Центр) подставки, вторая точка симметрично первой.

15. Заходим Вид – тонирование – свет – список источников света. В списке прожекторов Вы увидите два с одинаковым именем «1». Кликните правой кнопкой мыши и в появившемся окне нажмите СВОЙСТВА. Измените имя прожектора с «1» на «2» и нажмите ОК.

16. Перейдите на изометрический вид.

Выберите команду Render (Тонирование) на панели Render (Тонирование).

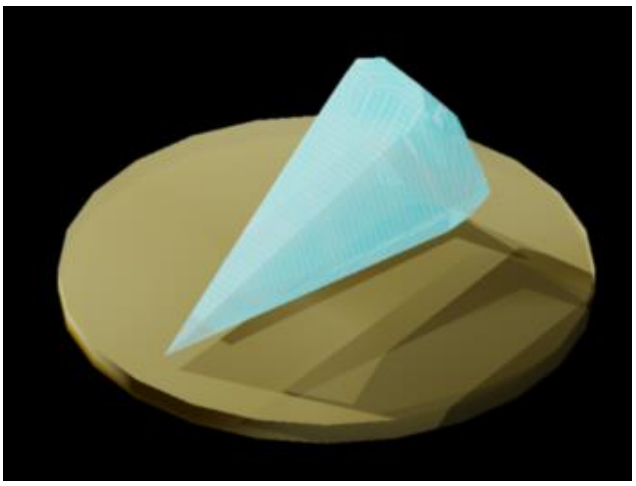
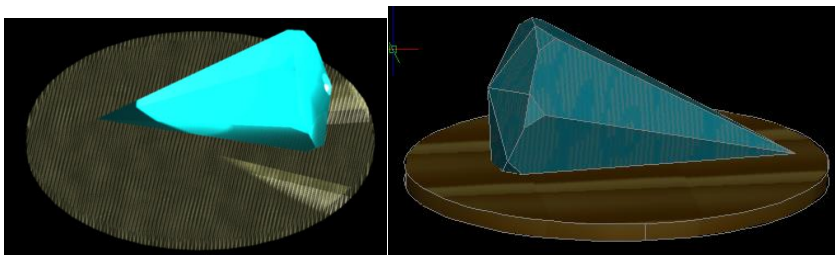


Рисунок 6 – Кристалл

Примеры:



**Лабораторная работа №4**
Тема: «Предметы на столе»

Перейдите на вид сверху.

Выберите команду 3dface (3d грань) на панели Рисование – моделирование – сети – 3D грань.

В командной строке появится следующее:

Command: 3dface Specify first point or [Invisible]:

Укажите первую точку – сделайте щелчок мышью в любом месте чертежа.

- Далее пойдет запрос о следующих точках:

Specify second point or [Invisible]:

Укажите 2-ю точку – введите @100,0,0 Enter

Specify third point or [Invisible]: <exit>

Укажите 3-ю точку – введите @0,100,0 Enter

Specify fourth point or [Invisible]: <create three-sided face>:

Укажите 4-ю точку – введите @-100,0,0 Enter

Specify third point or [Invisible]: <exit>

Укажите 3-ю точку – введите @0,0,100 Enter

Specify fourth point or [Invisible]: <create three-sided face>:

Укажите 4-ю точку – введите @100,0,0 Enter

Нажмите Enter для завершения команды.

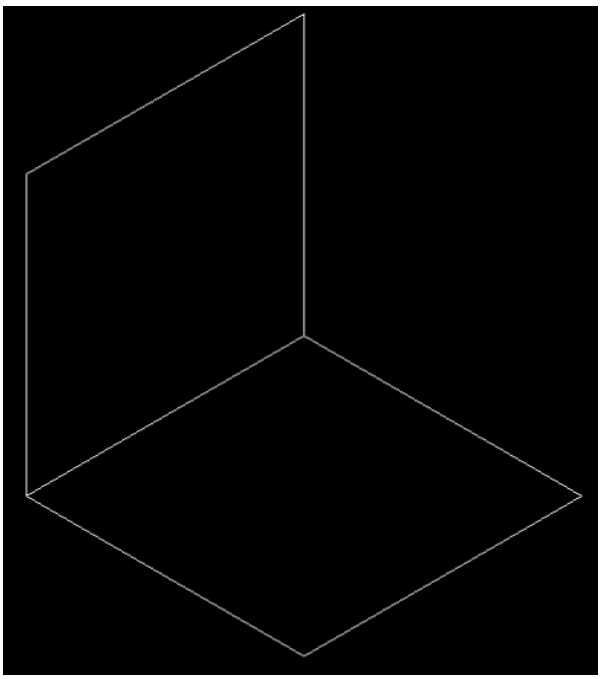


Рисунок 1 - ЮЗ изометрия

Введите в командной строке 3D. Далее выбираете команду Чаша.

- Щелкните в любом месте на плоскости.

- Вторым щелчком укажите произвольно радиус тарелки.

- Нажмите 2 раза Enter.

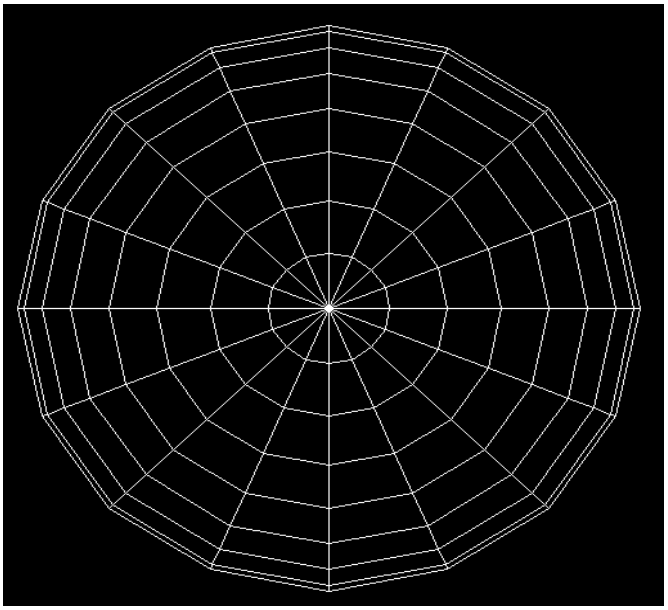


Рисунок 2 - Вид сверху

Перейдите на вид спереди.

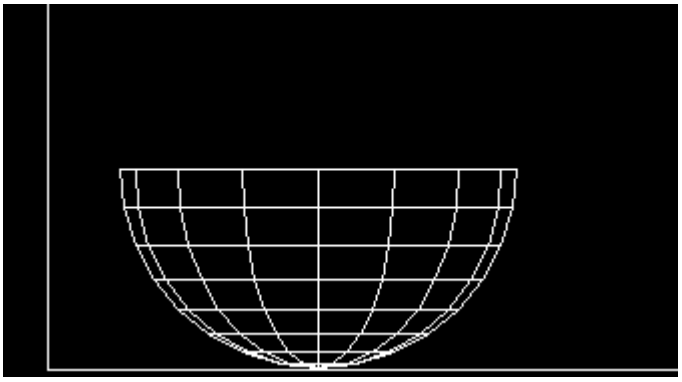


Рисунок 3 - Вид спереди

3D перекрестье

Управляет настройками стиля отображения указателя-перекрестья в 3D операциях.

Показывать ось Z в перекрестье

-Управление отображением оси *Z* в перекрестье-Отображать метки осей в стандартном перекрестье

-Управление отображением меток осей в перекрестье.

Показывать метки для динамических ПСК

-Отображение меток осей на перекрестье для динамических ПСК, даже если метки осей выключены на вкладке "Метки осей" окна "Стандартные перекрестья".

Метки на перекрестье

Позволяет выбрать метки для отображения на перекрестье.

X, Y, Z : Оси обозначаются X, Y и Z соответственно.

N, E, z : Оси обозначаются N (север), E (восток), Z (уровень) соответственно.

Проверьте взаимное расположение тарелки и плоскостей. При необходимости перенесите тарелку на место при помощи команды Move (Перенос). При переносе должен быть включен режим ORTHO, иначе Вы получите неожиданные результаты при переносе в 3D.

Проверьте взаимное расположение тарелки и плоскостей на ЮЗ изометрии.

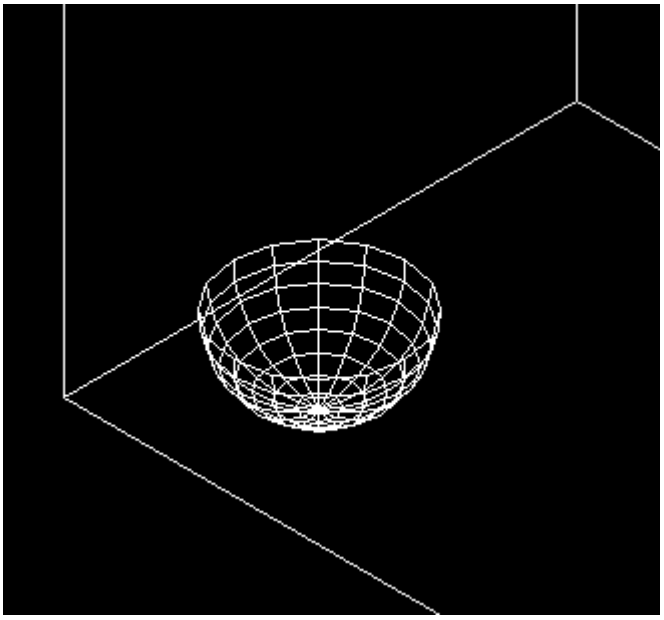


Рисунок 4 - ЮЗ изометрия

- Выберите команду Центр, с радиусом. Начертите круг с произвольным радиусом.

- Выберите команду Линия. Проведите хорду, параллельную оси Оу как показано на рисунке.

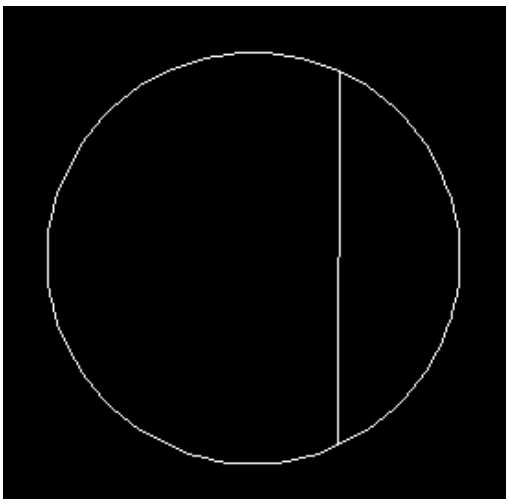


Рисунок 5 - Вид сверху

- Выбрать команду Обрезать. Выделить круг и хорду. Начать Enter. Нажать на хорду, и на левую часть окружности.

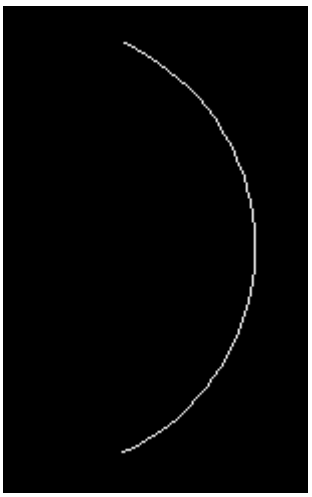


Рисунок 6 - Вид сверху

- Выберите команду Линия. Дорисуйте профиль вазы.

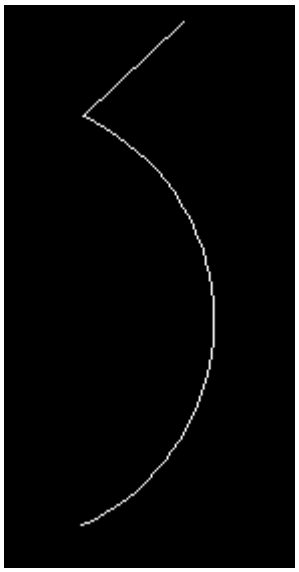


Рисунок 7 - Вид сверху

- Выберите команду Линия. Начертите ось вращения.

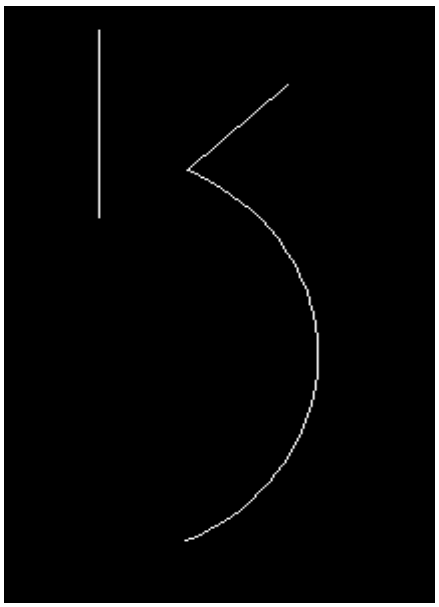


Рисунок 8 - Вид сверху

- Выберите команду Вращать. Выделите контур вазы. Нажмите Enter. Затем выделите ось вращения. Нажмите 2 раза Enter.

Перейдите на вид спереди. При необходимости перенесите вазу на место при помощи команды Move (Перенос).

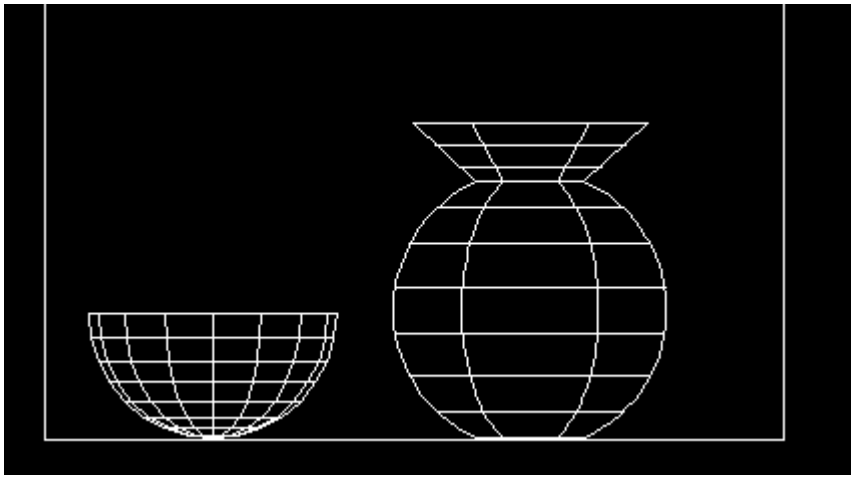


Рисунок 9 - Вид спереди

5. Перейдите на вид сверху.

Выберите команду Сфера.

- Щелкните в любом месте на плоскости.

- Вторым щелчком укажите произвольно радиус сферы.

- Нажмите 2 раза Enter.

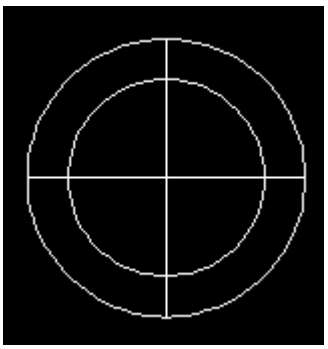


Рисунок 10 - Вид сверху

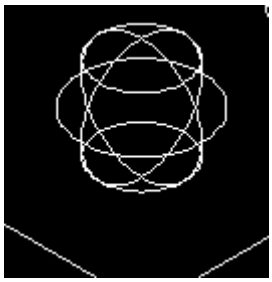


Рисунок 11 - ЮЗ изометрия

6. Перейдите на вид спереди.

- При необходимости перенесите сферу на место при помощи команды Move (Перенос).

7. Скопируйте сферу и переместите её в чашу при помощи команды COPY (копировать).

Перейдите на изометрический вид. У Вас должно получиться следующее:

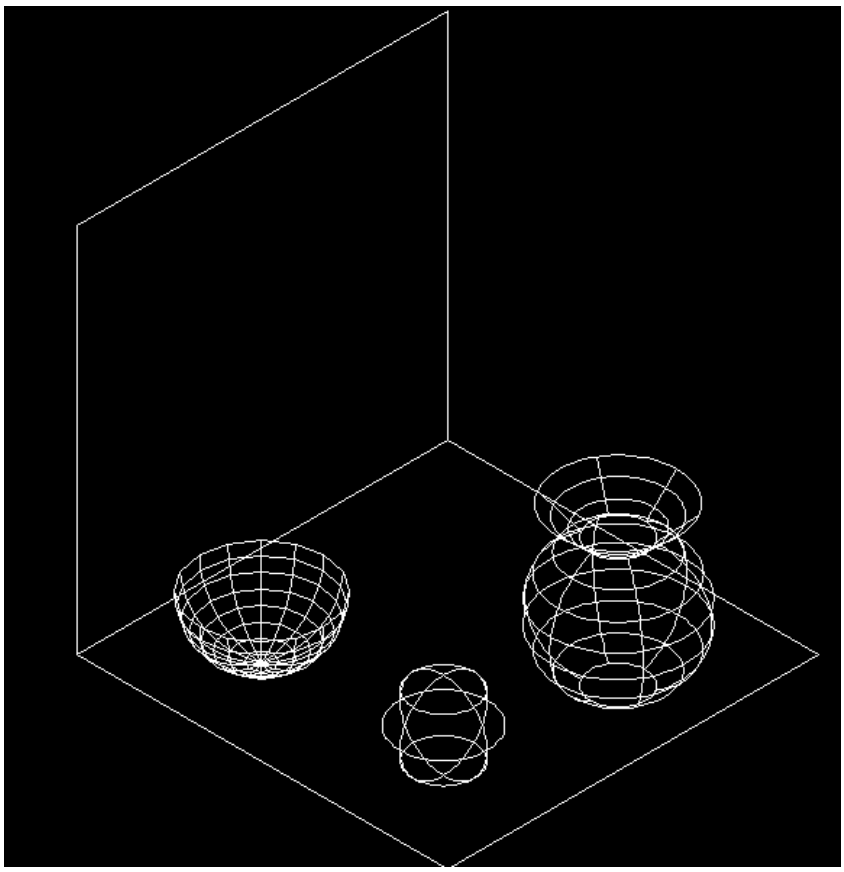


Рисунок 12 - ЮЗ изометрия

Выберите команду Материалы на панели инструментов Тонирование.

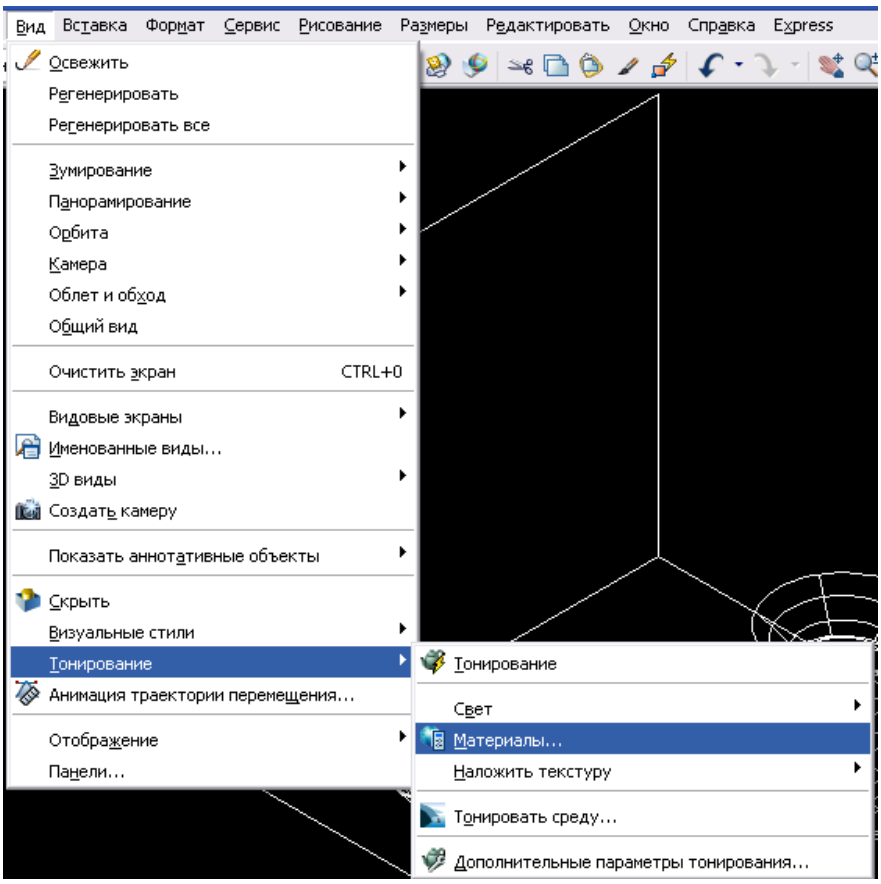



Рисунок 13 – Выбор меню «Материалы»

9. В окне Шаблоны выбрать Камень

- Выберите команду Новый точечный источник света.

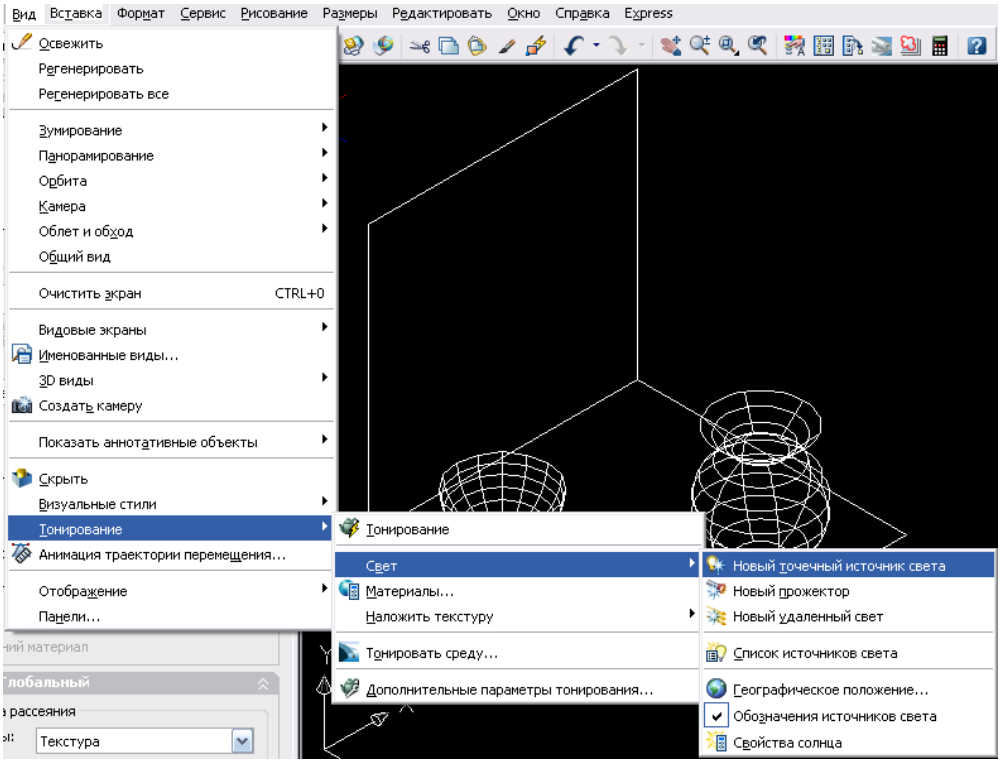



Рисунок 14 – Вкладка «Свет»

- Поместите источник света в любом месте чертежа, например

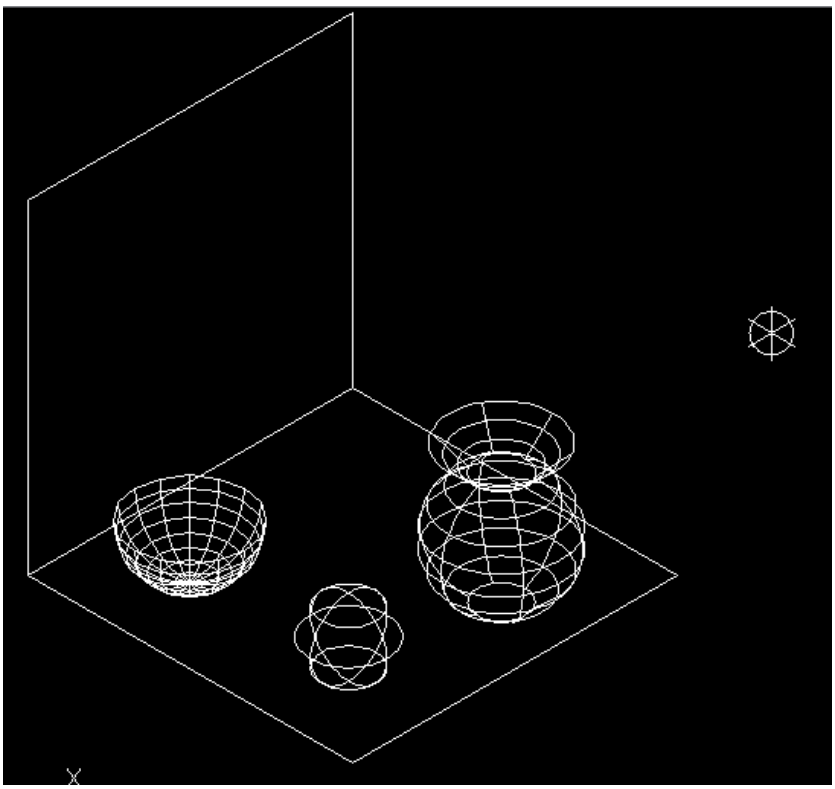
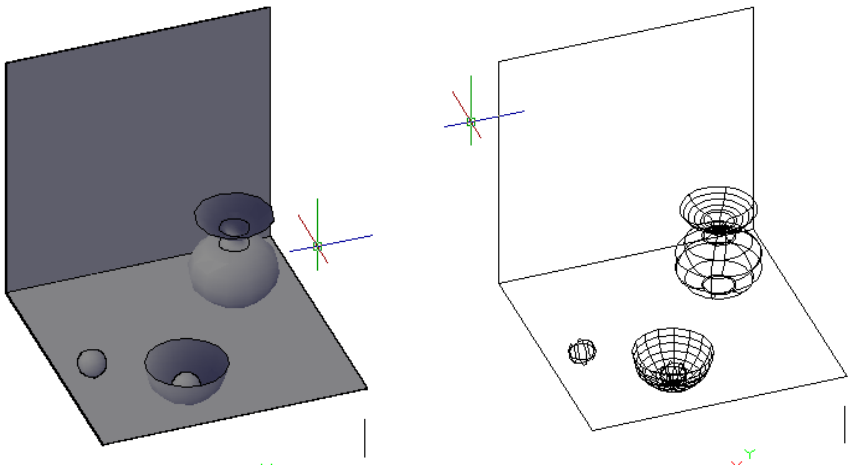


Рисунок 15 - ЮЗ изометрия

Примеры разных видовых стилях:



- Выберите команду тонирование

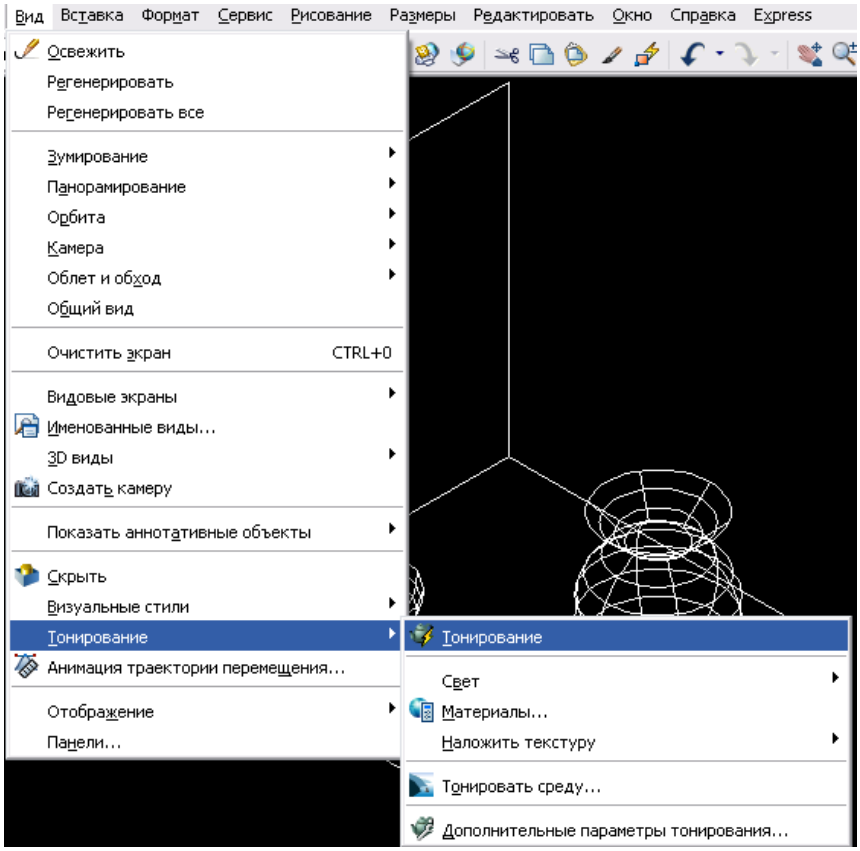



Рисунок 16 – Выбор команды тонирование

И вы должны получит примерно такой результат:

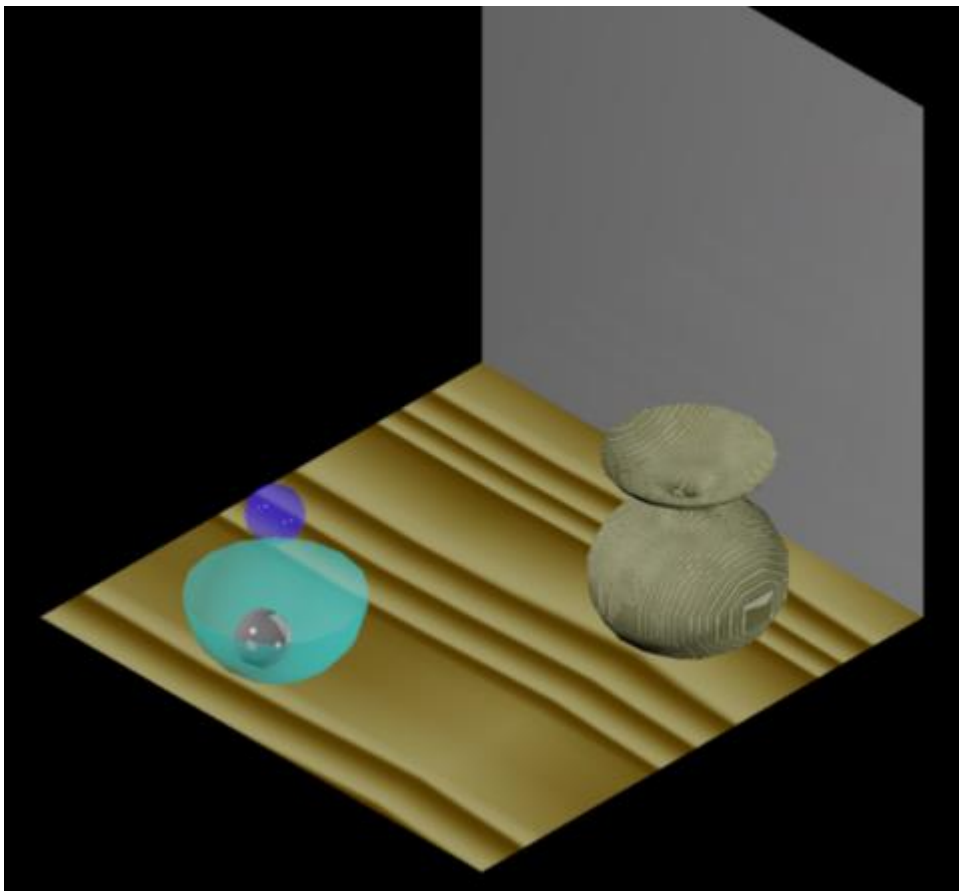
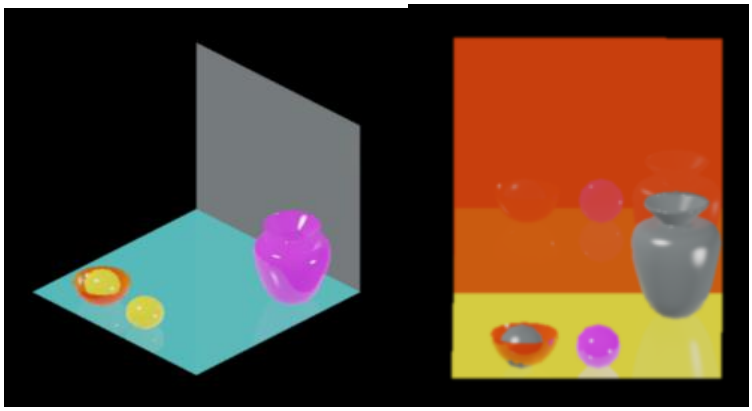


Рисунок 17 – Вид тонирования

По рекомендациям преподавателя изменить материалы для объектов любого вида.

Примеры:



**Лабораторная работа№5**
Тема: «Пуансон»

Создаем заготовку пуансона

Выбираем вид Спереди

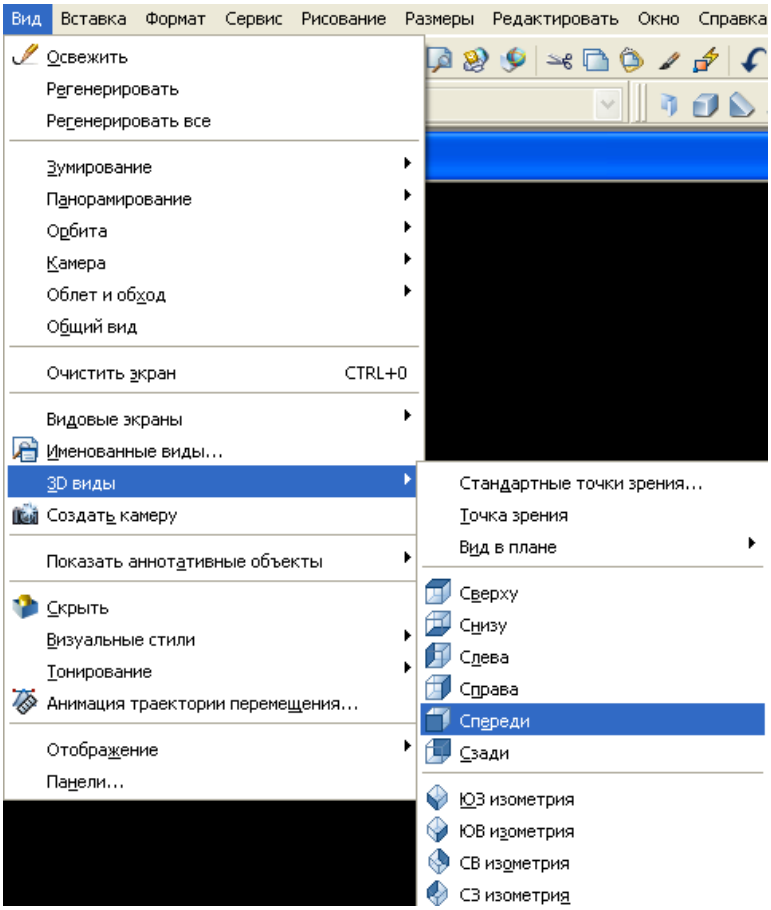



Рисунок 1 – Вид спереди

Нажимаем команду Ящик.

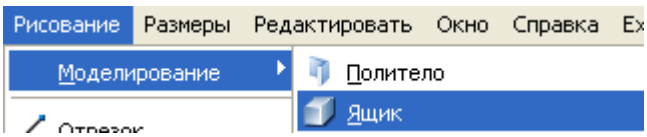



Рисунок 2 – Ящик

Нажимаем в любом месте чертежа. В командной строке прописываем

@200,100,35

Создаем еще один Ящик. В командной строке прописываем

@170,70,70

При помощи видов Спереди, Справа. Поместить вторую деталь над первой, так чтобы центры их совпали

Рисунок 3 - Вид Спереди

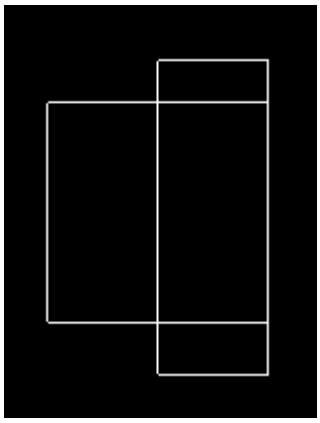


Рисунок 4 - Вид Справа

Делаем отверстия и отсекаем все лишнее

Включаем Привязка нажатием клавиши F3

Выбираем команду Цилиндр

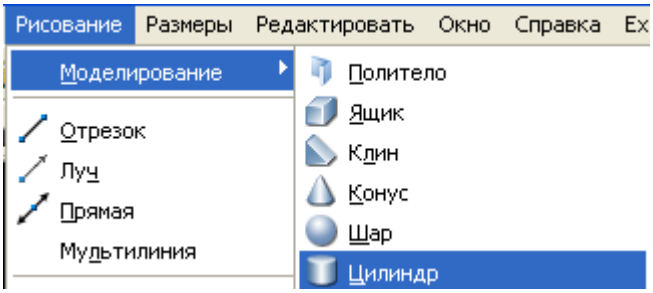



Рисунок 5 – Цилиндр

Нажимаем на любой угол второй детали.

Радиус 9

Высота -35

Создаем цилиндры и на остальных углах второй детали:

Рисунок 6 - Вид Спереди

Выбираем Вычитание

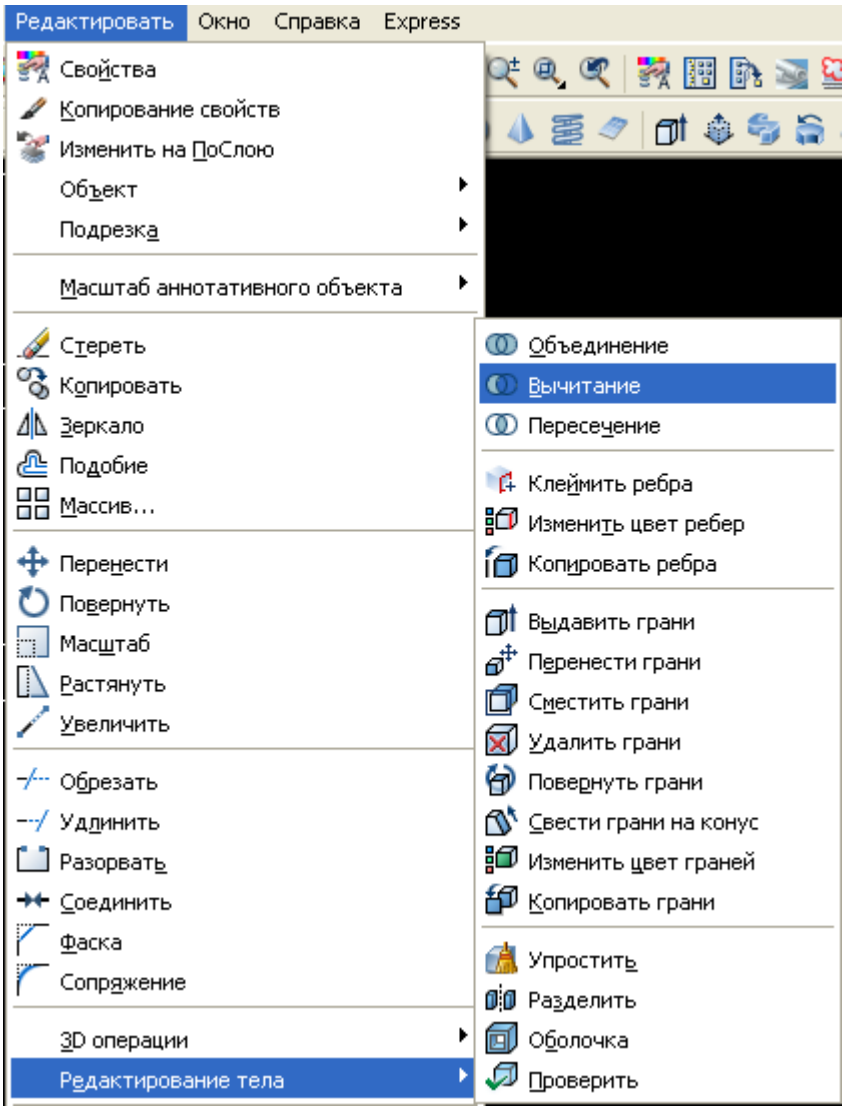



Рисунок 7 – Вычитание

Нажимаем на вторую деталь. Нажимаем Enter. Нажимаем на 4 цилиндра. Нажимаем Enter.

Рисунок 8 - Вид Спереди

Выключаем Привязка нажатием клавиши F3

Выбираем команду Цилиндр

Создаем три цилиндра. Это будут резьбовые отверстия. Располагаем их в нужных местах

Радиус 5

Высота -35

Рисунок 9 - Вид Спереди

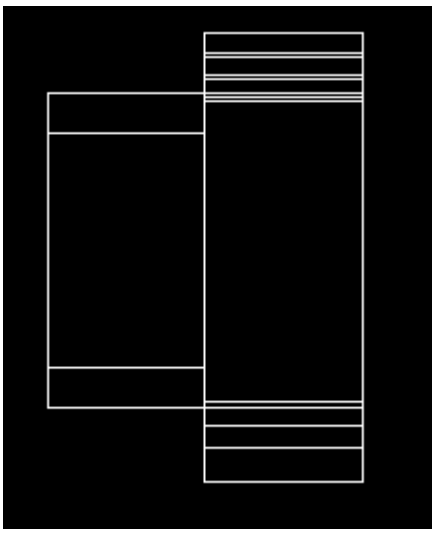


Рисунок 10 - Вид Справа

Выбираем Вычитание

Нажимаем на первую деталь. Нажимаем Enter. Нажимаем на 3 цилиндра. Нажимаем Enter.

Выбираем вид Сзади

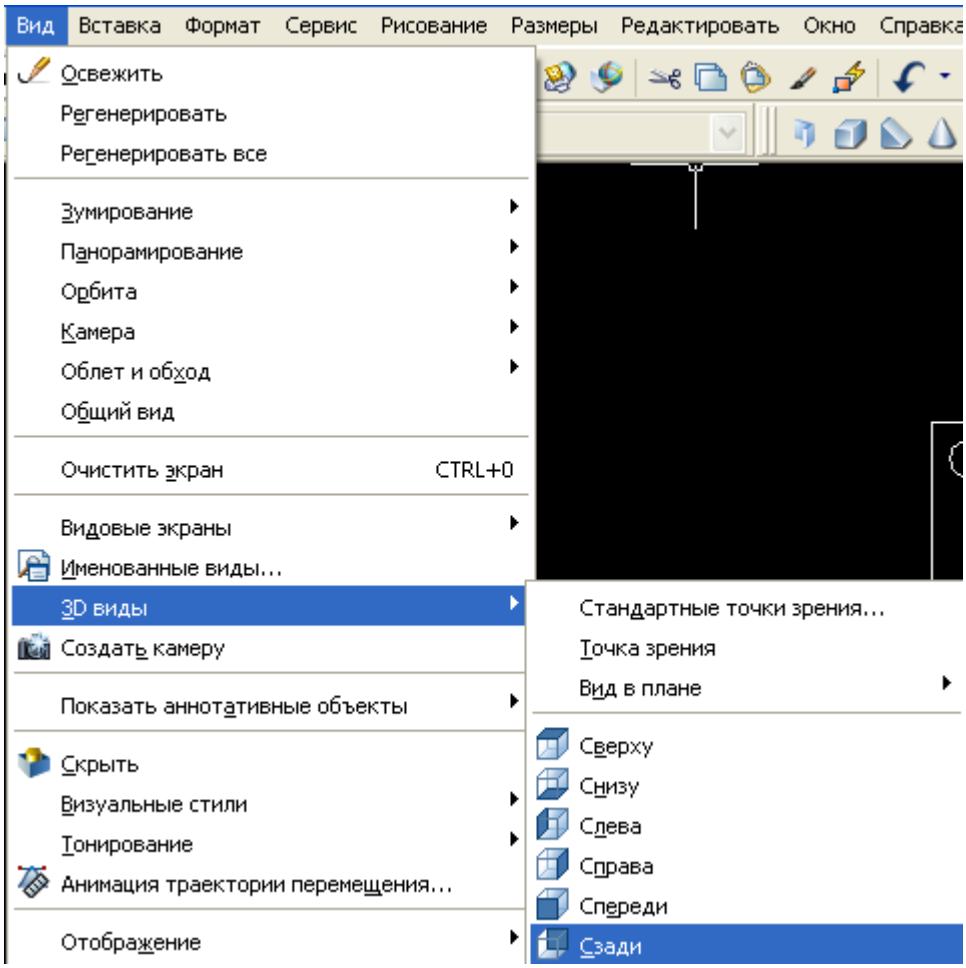



Рисунок 11 – Вид сзади

Включаем Привязка нажатием клавиши F3

Выбираем команду Ящик. Нажимаем на нижний левый угол первой детали.

В командной строке пишем:

@100,50,-70

Выбираем вид Спереди

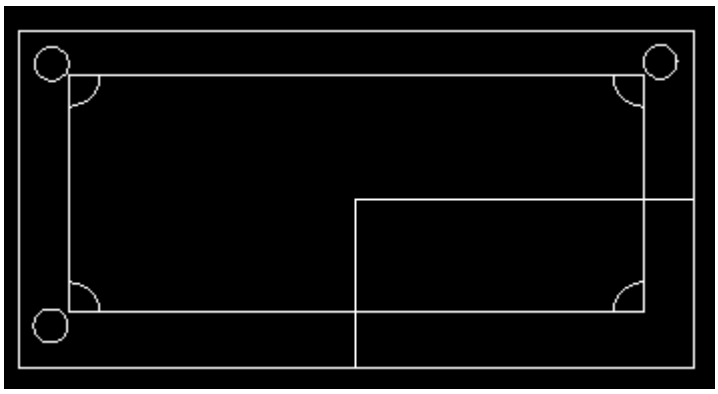


Рисунок 12 - Вид Спереди

Выбираем команду Вычитание

Нажимаем на первую и вторую деталь. Нажимаем Enter. Нажимаем получившийся параллелепипед. Нажимаем Enter.

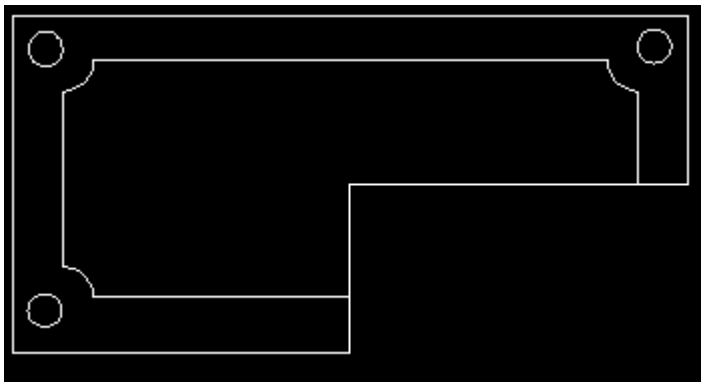


Рисунок 13 - Вид Спереди

Заключение

Выбираем Реалистичный вид

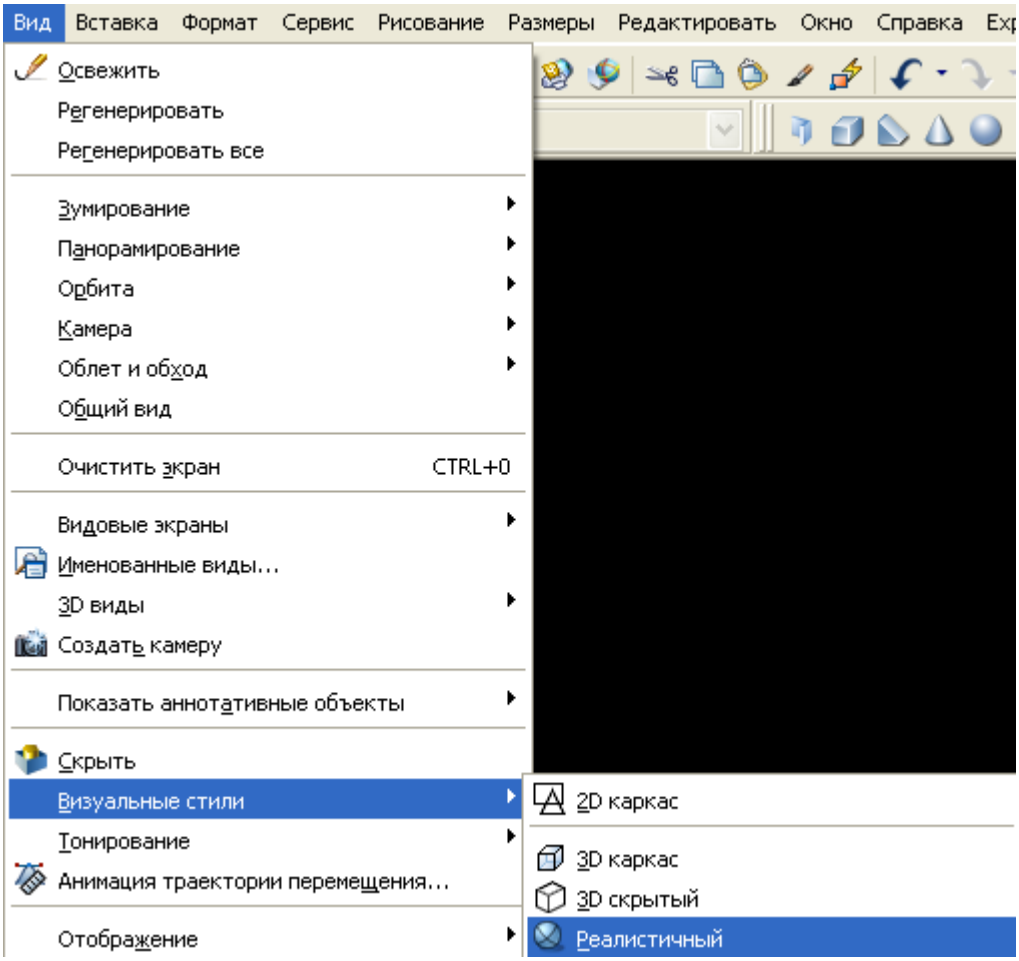



Рисунок 14 – Реалистичный вид

Выбираем ЮВ изометрия

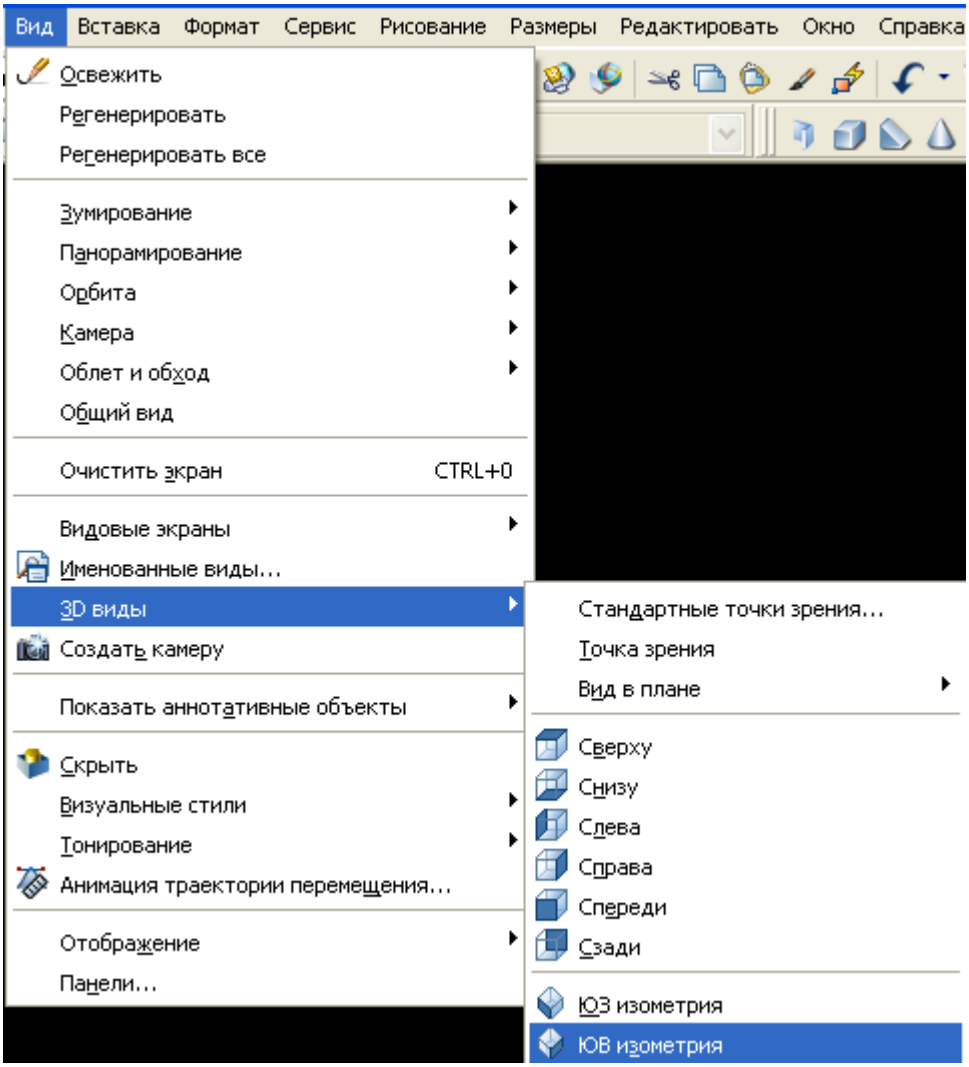



Рисунок 14 – Меню ЮВ изометрия

У вас должно получиться  примерно следующее:

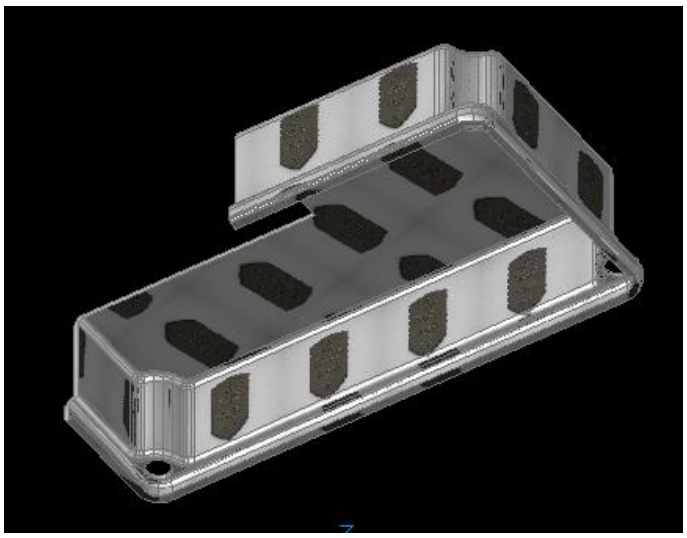
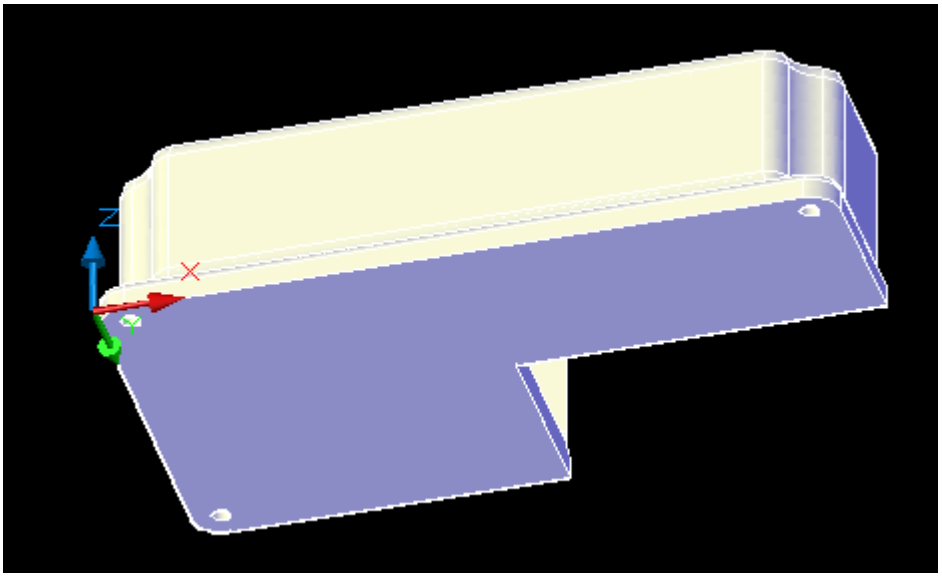


Рисунок 15. ЮВ изометрия

Пример:



**Лабораторная работа №6**

**Тема:** «Лестница домика»

**Цель:** Познакомиться с основными понятиями, научиться добавлять материалы к объекту, модифицировать и создавать новые материалы, создавать и настраивать источники освещения.

Создаем модель лестницы.

- Выберите вид спереди

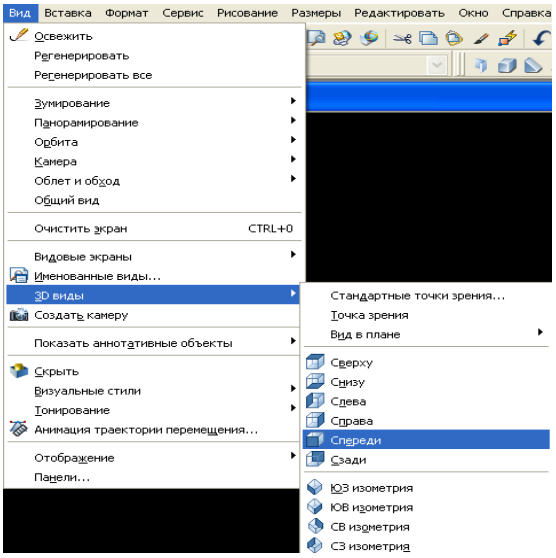



Рисунок 1 – Вид спереди

- Выберите 3D грань

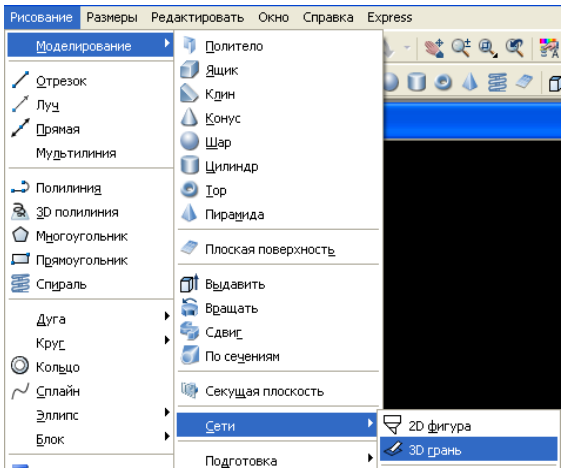



Рисунок 2 – Выбор 3D грани

- Поставьте точку в любом месте чертежа и перейдите в командную строку

- В командной строке набирайте:

1) @100,0,0

2) @0,20,0

3) @-100,0,0

4) @0,0,-50

5) @100,0,0

6) @0,20,0

7) @-100,0,0

Повторите 4-7 пункты

8) @0,0,-50

9) @100,0,0

10) @0,-60,0

11) @-100,0,0

12) @0,0,150

13) @100,0,0

14) @0,0,-150

У вас должно получиться:

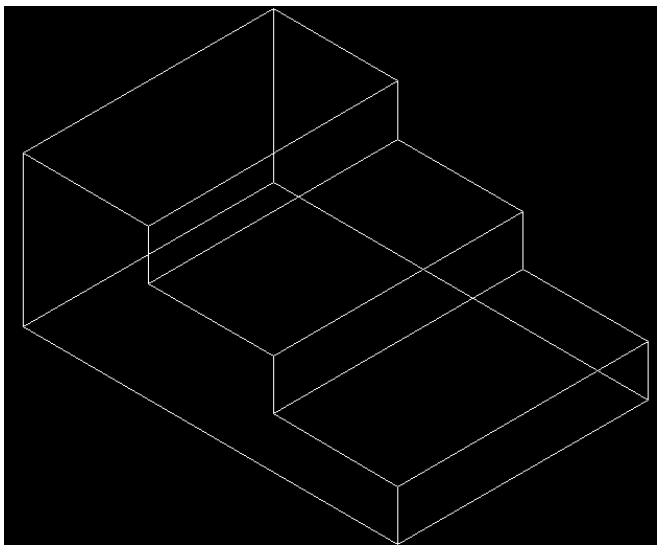


Рисунок 3 - ЮЗ изометрия

Теперь научимся добавлять материал к объекту и тонировать его

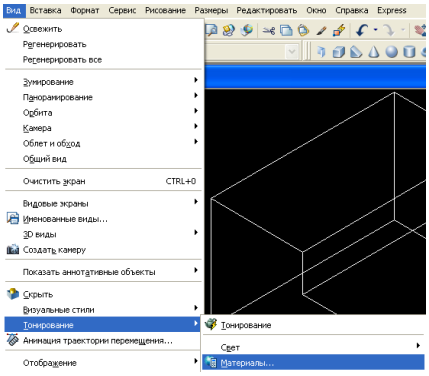



Рисунок 4 – Назначение материала

В шаблоне выбираем Камень

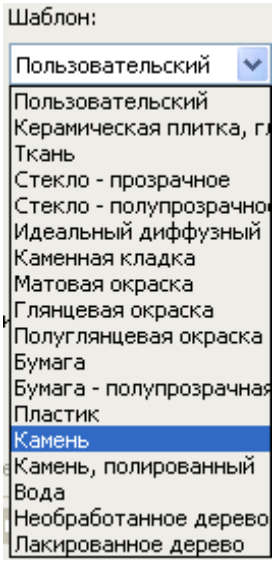



Рисунок 5 – Выбор пункта «Камень»

Теперь надо поставить источники света.

Для этого выбираем новый точечный источник света и расставляем 3 штуки, так чтобы была видна вся лестница на ЮВ изометрии.

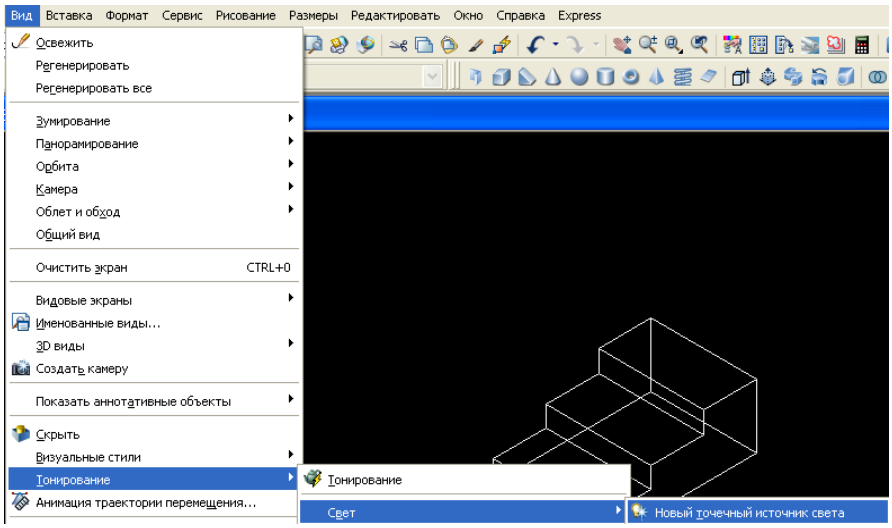



Рисунок 6 – ЮВ изометрия

Примерно это должно выглядеть так:

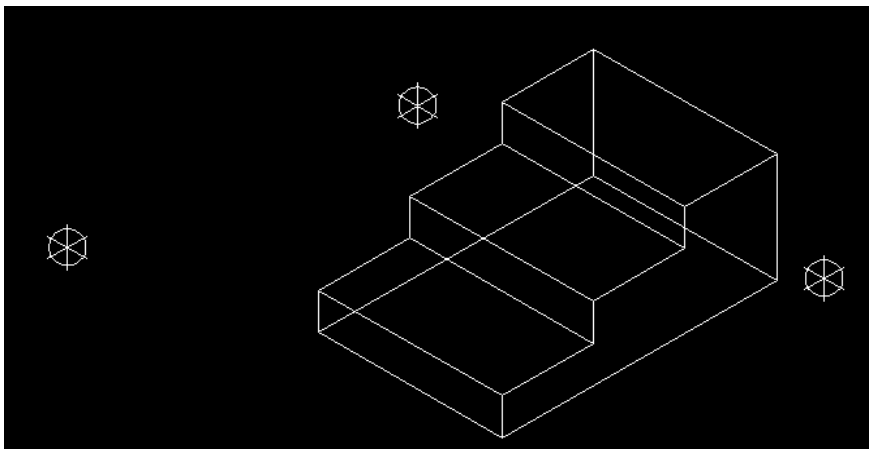


Рисунок 7 - ЮВ изометрия

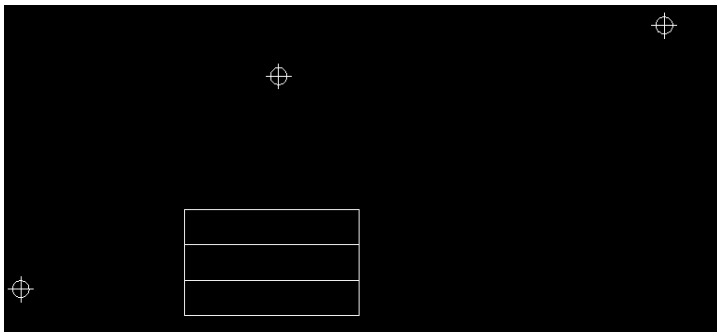


Рисунок 8 – Вид  спереди

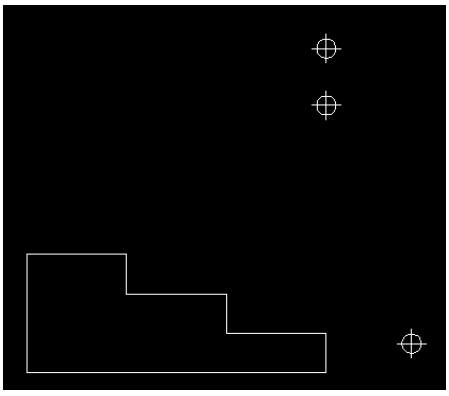


Рисунок 9 – Вид слева

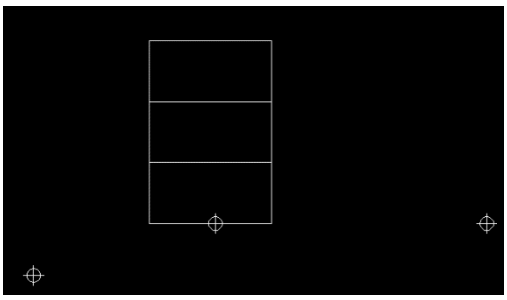


Рисунок 10 - Вид сверху

Для проверки источников света необходимо выполнить Тонирование, предварительно перейдя на вид ЮВ изометрия.

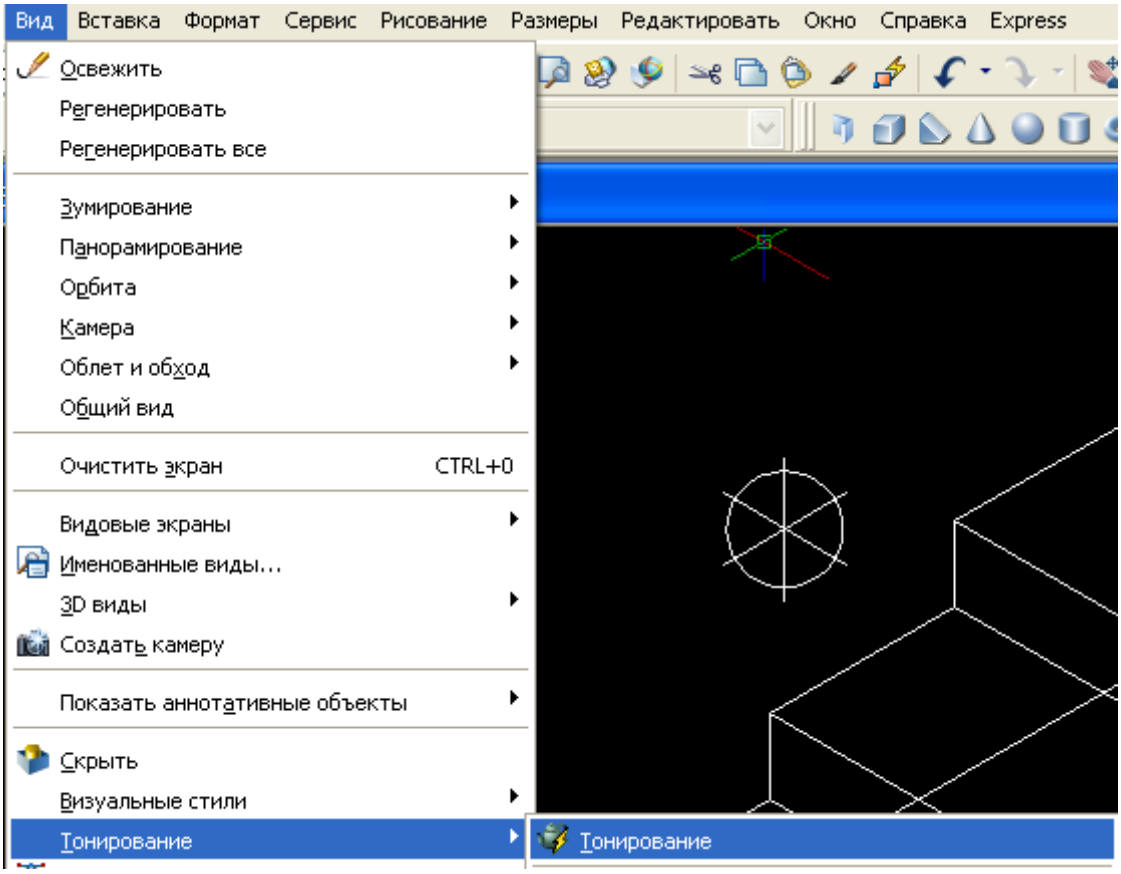



Рисунок 11 – Тонирование

Изменяя положения источников света необходимо добиться такого результата

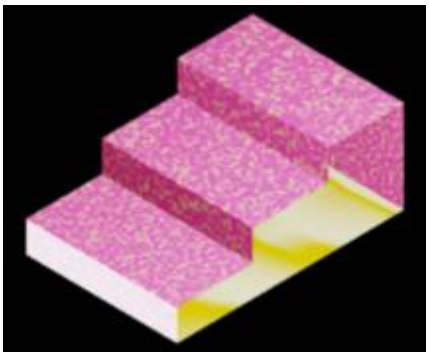


Рисунок 12 – Итог тонирования

Опять заходим в Материалы. Жмем создать новый материал. Нажимаем ОК

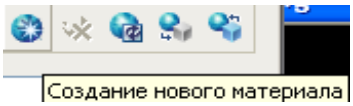



Рисунок 13 - Создание нового материала

Выбираем основание и заднюю стенку лестницы

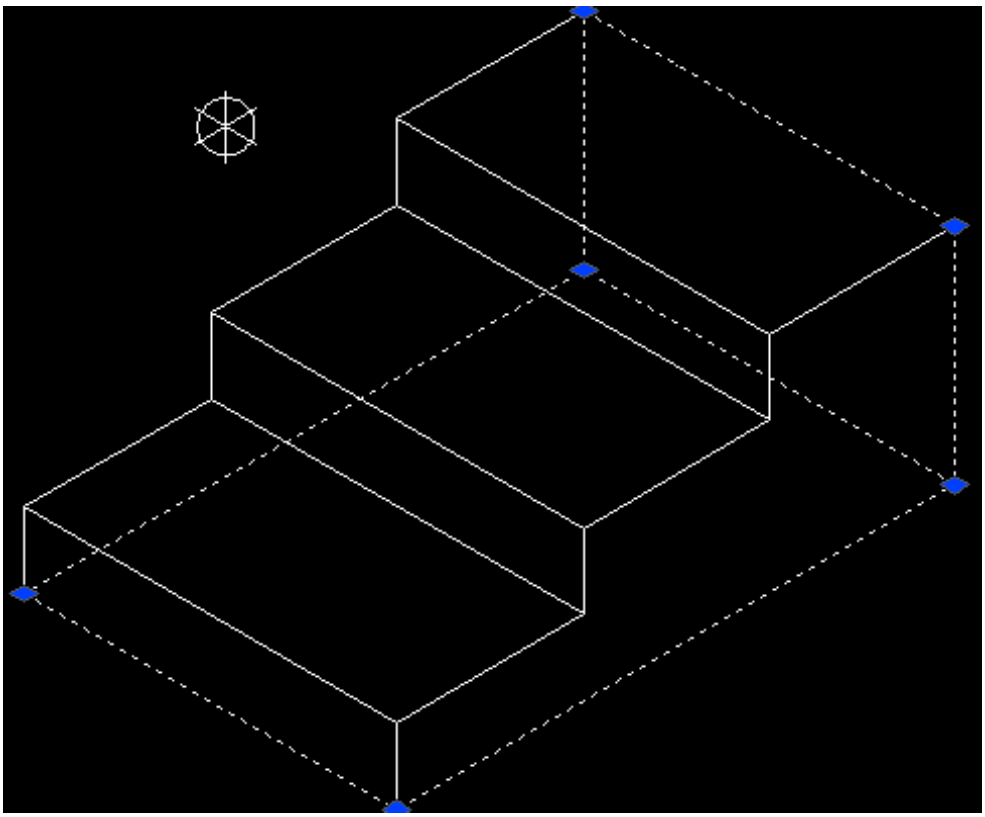


Рисунок 14 - ЮВ  изометрия

Нажимаем клавишу Назначать материал для объектов

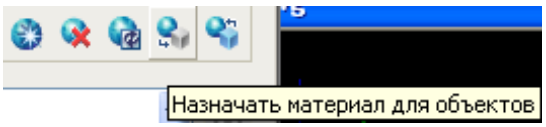



Рисунок 15 – Назначить материал для объектов

На вкладке Текстуры – Материала 1 в типах текстуры выбираем Дерево

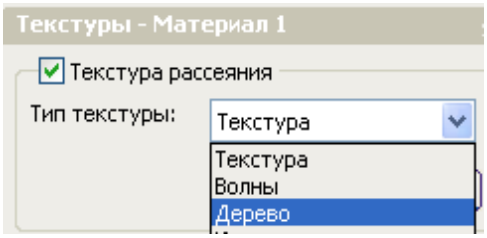



Рисунок 16 – Меню «Текстура»

Теперь при Тонировании должно получиться

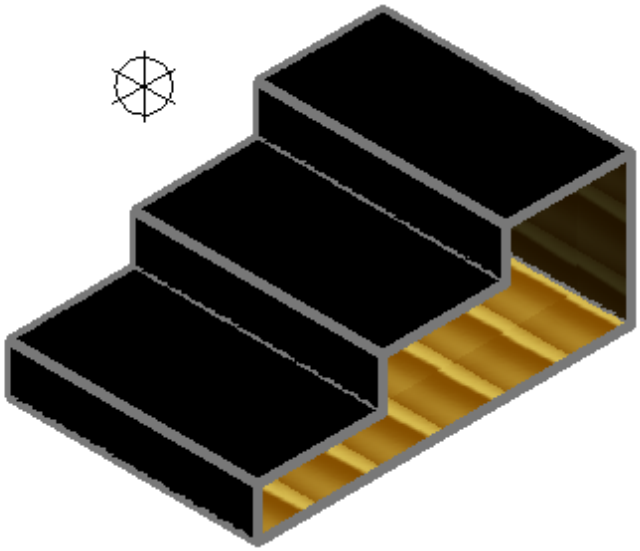
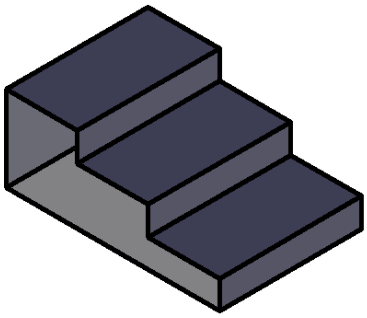
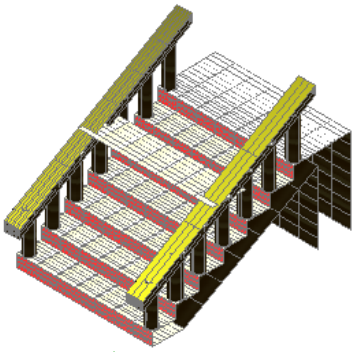


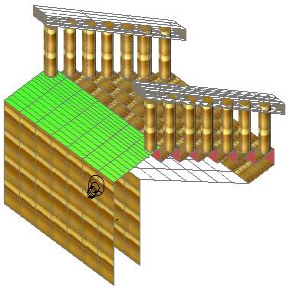
Рисунок 17 – Примерный результат тонирования

Поэкспериментируйте с настройками материала, задав каждой ступеньке свой материал, расположением источников света.

Примеры:







**Лабораторная рабоат№7**

**Тема:** Тонирование 3D объектов, источники освещения

**Цель:** Познакомиться с основными понятиями, научиться добавлять материалы к объекту, модифицировать и создавать новые материалы, настраивать параметры тонирования, создавать и настраивать источники освещения, устанавливать фон и туман, определять ландшафтные объекты.

Ход работы

Основные понятия.

Тонирование позволяет сделать изображение объектов более реалистичным по сравнению с изображением каркасной или раскрашенной модели.

Тонирование выполняется с помощью команды Тонировка. 4 стадии процесса тонирования:

. Выбор материала;

. Присвоение объекту выбранного материала;

. Добавление световых эффектов путем добавления источников света, располагаемых в различных местах модели;

. Применение команды «Тонировать» для осуществления процедуры тонирования.

. Выбор материалов и присвоение их объекту.

Материалы могут быть добавлены к объектам, слоям. По умолчанию с каждым новым чертежом связывается материал GLOBAL.

Выбор материала

8.Панель инструментов: Тонирование - Библиотека материалов
Меню: Вид - Тонирование - Библиотека материалов

Команда: MATLIB

После вызова команды открывается диалоговое окно, состоящее из нескольких компонентов

*Раздел Current Drawing (Область текущего чертежа)*

**В этом** разделе находится набор параметров, относящихся к материалам, присвоенным текущему изображению. По умолчанию там находится материал GLOBAL, который автоматически присваивается всем новым изображениям. При выборе нового материала его название добавляется в область.

Кнопка Purge (Очистить) служит для удаления всех материалов используемых в текущем чертеже.

Кнопка Save As (Сохранить как) позволяет сохранить текущий список материалов в новой библиотеке.

*Раздел Preview (Предварительный просмотр)*

**В эт**ом разделе находится окно предварительного просмотра и раскрывающийся список. После выбора одного из материалов в области текущего изображения или библиотеки с последующим щелчком на кнопке Preview выбранный материал можно увидеть на поверхности сферы или куба.

*Раздел Current Library (Текущая библиотека)*

**Этот** раздел содержит параметры текущей библиотеки материалов. Обычно материалы сохраняются в файле render.mli. Все доступные материалы перечислены в списке, расположенном под раскрывающимся списком выбора библиотеки.

Кнопка Open ОТКРЫТЬ открывает диалоговое окно Library File, при помощи которого можно загрузить пользовательскую библиотек) материалов

Кнопка Save служит для сохранения изменений, произведенных в библиотеке материалов.

Кнопка Save As позволяет сохранить изменения в библиотеке материалов под другим именем.

*Кнопка Import*

Позволяет скопировать выбранный материал в текущее изображение.

*Кнопка Export*

Служит для добавления материала, сохраненного в текущем чертеже. Если выбранный материал уже имеется в библиотеке, на экране появится диалоговое окно согласования имен экспортированных материалов (Reconcile Exported Material Names). Это окно содержит следующие элементы:

при установке флажка Overwrite Existing Material (Перезапись существующего материла) имеющийся в библиотеке материал будет заменен текущим;

в поле Old Material in Library (Предыдущее название материала) показано текущее название материала;

в поле New Material from list (Новый материал из списка) вводится имя, под которым требуется сохранить новый материал.

*Кнопка Delete*

Эта кнопка позволяет удалить выбранный материал из текущего чертежа или из библиотеки материалов.

***Присвоение объекту материала***

Панель инструментов: Тонирование - Материалы
Меню: Вид - Тонирование - Материалы

Команда: RMAT

Эта команда используется для присвоения выбранного материала объекту. Кроме того, она также позволяет создавать новые материалы или изменять уже существующие.

В разделе Materials показаны материалы, которые были импортированы ранее при помощи диалогового окна Material Library.

В области предварительного просмотра можно просмотреть выбранный материал.

Кнопка Attach (Присоединить) позволяет произвести присвоение текущего материала чертежу. После щелчка на этой кнопке диалоговое окно временно исчезает с экрана для того, чтобы позволить вам выбрать на чертеже объект, которому следует присвоить материал. После выбора объекта (или объектов) диалоговое окно снова появляется на экране.

Кнопка Detach (Отсоединить) противоположна по действию предыдущему элементу окна.

Кнопка By ACI используется для присвоения материала с использованием номера цвета. Материал можно присваивать объекту, обладающему определенным цветом. При этом материал будет автоматически присваиваться

программой всем последующим объектам, имеющим тот же цвет. После щелчка на этой кнопке открывается диалоговое окно. В левой части окна отображается список материалов, в правой - список цветов. Attach - присоединяет материал цвету. Detach - отсоединяет.

Кнопка By Layer служит для присвоения материала выбранному слою чертежа. Это означает, что все объекты, помещаемые на такой слой, будут автоматически тонированы с использованием выбранного материла.

Кнопка Material Library открывает диалоговое окно Material Library.

Кнопка Select (Выбор) позволяет получить информацию о материале, присвоенном данному объект)

Упрощенное тонирование.

Панель инструментов: Тонирование - Тонирование
Меню: Вид - Тонирование - Тонирование

Команда: RENDER

Существует два вида тонирования:

1. Упрощенное тонирование. Для тонирования используется глобальный материал.

2. Фотореалистичное тонирование. К объекту присоединяется указанный материал. Можно задавать прозрачность материала, устанавливать источники освещения объекта.

Пример. 1

3.1. Создайте модель лестницы. Используйте произвольные размеры.

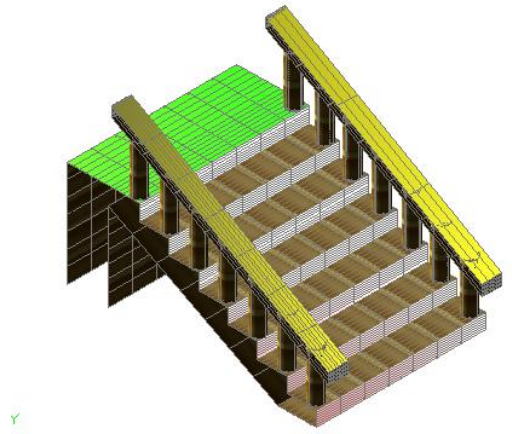


Рисунок.3.1 – Лестница

Щелкните по кнопке Материалы. В открывшемся окне нажмите на кнопку Библиотека материалов.

. Выберите материал MARBLE PALE в списке материалов и щелкните по кнопке присоединения. Таким же способом присоедините остальные материалы.

ступеньки MARBLE PALE

балясины COPPER

поручни WOOD-WHITE ASH

Методические рекомендации: при назначении материалов для объектов следует пользоваться библиотекой материалов, если она отсутствует, то создаем свои материалы. При затруднении выполнения задания пользоваться справкой. (Нажмите F1)

. Выберите в списке Materials материал с именем MARBLE PALE и щелкните по кнопке Attach, выберите ступеньки. Аналогичным образом присвойте остальные материалы соответствующим элементам лестницы. Затем нажмите ОК.

Щелкните по кнопке Тонирование. В раскрывающемся списке Rendering Type (Тип тонирования) выберите параметр Photo Real. Результат тонирования показан на рисунке.

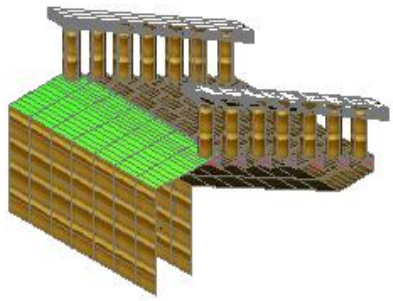


Рисунок 3.2

4. Источники освещения.

Панель инструментов: Тонирование - Освещение
Меню: Вид - Тонирование - Освещение

Команда: LIGHT

Освещение придает тонированному изображению больше достоверности. Цвета и отражение от поверхностей выбираются из систем:

- RGB (Красный-Зеленый-Синий) или
- HLS (Тон-Яркость-Насыщенность).

***Освещение рассеянным светом***

В реальности аналогом освещения рассеянным светом (ambient light) является равномерное по интенсивности освещение всех объектов в комнате.

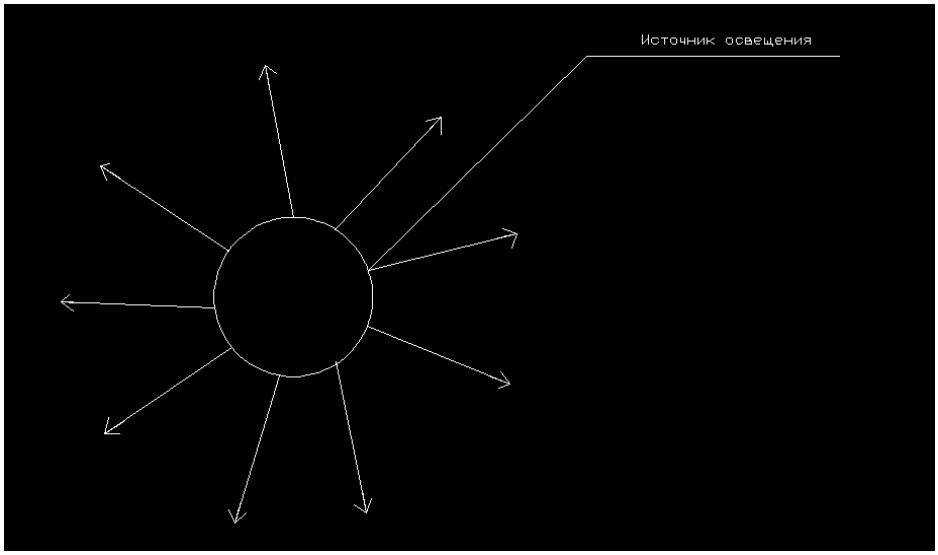



Рисунок4.1

Освещение рассеянным светом не имеет конкретного источника и направления. Однако его интенсивность может изменяться как в большую, так и в меньшую сторону, вплоть до полного отключения освещения.

По умолчанию параметр интенсивности рассеянного освещения имеет значение 0,3. Слишком больше значение интенсивности приводит к засветке изображения объекта.

***Освещение точечным источником***

Световой поток от точечного источника (point light) распространяется по всем направлениям с уменьшением интенсивности. Освещение удаленным источником является аналогом освещения электрической лампочкой.

**Модель источника точечного освещения**

при выборе переключателя None (Нет) яркость объекта не будет зависеть от расстояния до источника света. Интенсивность освещения будет одинакова как для объекта, находящегося совсем близко к источнику, так и для объекта, расположенного далеко от него;

при выборе переключателя Inverse Linear (Обратная линейная зависимость) яркость объекта будет обратно пропорциональна расстоянию от источника

освещения. Если интенсивность =1, а расстояние = 2 единицы, то яркость = *1/2;*

при выборе переключателя Inverse Square (Обратная квадратичная зависимость) яркость объекта будет обратно пропорциональна квадрату расстояния от него. Яркость = $1/2^2$.

Раздел Shadows (Тени) служит для настройки теней, отбрасываемых объектом. Объект отбрасывает тени только при установленном флажке Shadows On (Включить тени). Остальные параметры теней настраиваются при помощи диалогового окна Shadows Options (Параметры теней).

При установке флажка Shadows Volumes/Ray Traced Shadows (Интенсивность затенения/Фотореалистичные тени) на чертеже будут показаны сложные тени, используемые при фотореалистичном тонировании с использованием источников освещения.

Список Shadow Map Size (Размер основания тени) служит для выбора размера отбрасываемой тени. Размеры вычисляются в пикселях. Чем большее число выбирается в списке, тем реалистичней выглядит создаваемая тень.

Ползунок Shadow Softness (Мягкость тени) позволяет задавать степень мягкости тени. Чем больше значение этого параметра, тем размытость тени окажется выше.

Кнопка Shadow Bounding Objects (Объекты, ограничивающие тень) позволяет указать на чертеже объекты, ограничивающие собою отбрасываемую тень.

## Пример. 2

В этом примере рассмотрим применение точечного источника освещения для воспроизведения эффекта света, льющегося из окон и двери дома.

В диалоговом окне, открывающемся по команде LIGHT (Освещение) необходимо выбрать в открывающемся списке point light и затем нажать кнопку New. После этого появляется новое окно - Новый точечный источник.

В этом окне задаются следующие параметры:

Имя нового источника.

Интенсивность освещения.

В разделе Position (Расположение) указывается местоположение источника освещения.

Кнопка Modify (Изменить) используется для указания источника точечного освещения.

Кнопка Show (Показать) позволяет открыть окно, в котором представлены координаты источника. Однако точечный источник излучает свет во всех направлениях одинаково, поэтому для него не существует какой-либо единой конечной цели; В разделе Color можно задать цвет точечного освещения;

В разделе Attenuation (Затухание) можно определить количество света, излучаемого на единицу площади. Интенсивность света обратно пропорциональна расстоянию между источником и объектом. Таким образом, чем больше расстояние от источника света, те меньше его интенсивность. Это явление получило название *затухания света.*

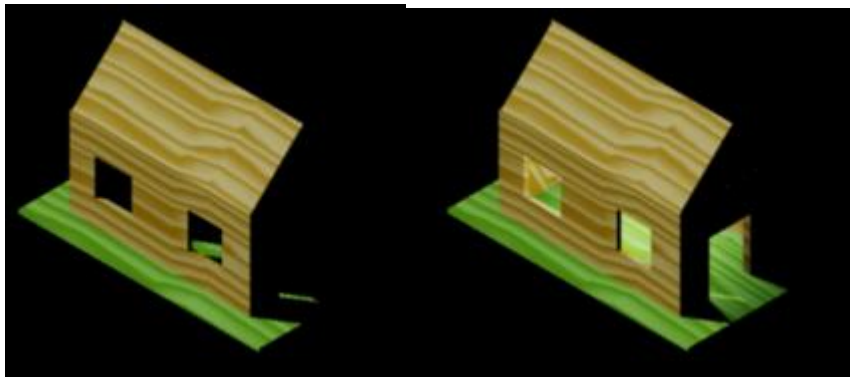


Рисунок 4.2 – предмет после установки точечного источника света

4.1. Создайте модель. Выберите материалы и присоедините их к чертежу. Рекомендуемые материалы.

стены BROWN BRICK

пол SOUTH WEST PATTERN

крыша TILE WHITE

Щелкните по кнопке Освещение. В раскрывающемся списке выберите point light и нажмите New.

В открывшемся окне введите имя источника (1) и выберите желтый цвет освещения. Щелкните по кнопке Modify (Изменить) для изменения расположения источника освещения. Укажите точку, находящуюся внутри дома (неподалеку от оконного проема).

В разделе Shadow установите флажок Shadows On. Нажмите ОК.

Можно установить второй источник освещения, расположив его поблизости от дверного проема (цвет - зеленый).

Щелкните по кнопке Тонирование на одноименной панели. Выберите параметр Photo Real. Установите флажок Shadows.

***Освещение прожектором***

Этот вид освещения (spotlight) характеризуется направлением и конусообразной формой светового потока. Размеры конуса и направление освещения могут быть заданы при определении источника. При увеличении расстояния от источника интенсивность светового потока уменьшается.

При задании интенсивности можно выбрать три параметра:

- None - интенсивность светового потока не меняется;
- Inverse Linear (Обратная зависимость) - интенсивность снижается по линейному закону. Интенсивность обратно пропорциональна расстоянию.
- Inverse Square - интенсивность снижается по квадратичному закону.

Параметр Hotsport определяет конус, образуемый потоком льющегося света, в котором яркость наиболее высока. Диапазон 0 - 160.

Параметр Falloff определяет еще один конус, образуемый всем потоком излучаемого света. Освещение внутри этого конуса становиться более блеклым, а при приближении к границам внешнего края - почти невидимым. Диапазон 0 - 160.

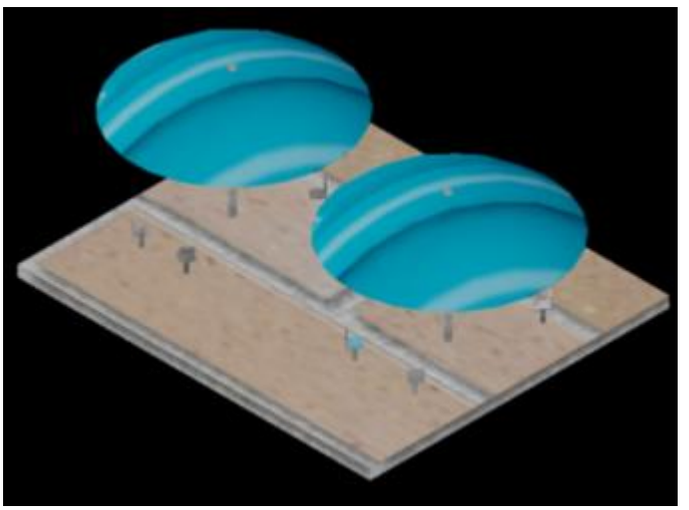


Рисунок 4.3 – Тонирование

Выберите материалы и присоедините их к модели.

Установите следующие параметры освещения:

освещение удаленным источником (distant light);

задайте имя источника (D1);

установите флажок для включения затенения (Shadows On);

нажмите кнопку Sun Angle Calculator (солнечный угловой калькулятор):

установите дату и время (6/20, 14:00),

выберите в раскрывающемся списке PST параметр MST,

щелкните по кнопке Geographic Location и выберите в открывшемся окне Северную Америку и город Нью-Йорк.

.Закройте все окна путем нажатия кнопок ОК.

.Нажмите кнопку Тонирование. В появившемся окне установите следующие параметры

тип тонирования - Photo Real (реалистичный);

установите флажок Shadows для включения теней. Результат тонирования представлен на рисунке.

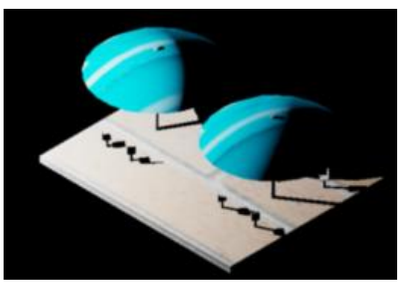


Рисунок 4.4 – Результат тонирования предмета

***Освещение удаленным источником***

Удаленный источник света (distant light) излучает поток параллельных лучей в одном направлении. Для удаленного источника задаются направление излучения и интенсивность светового потока. Освещение удаленным источником является аналогом солнечного освещения.

Параметры. используемые только для удаленного источника:

Источник можно установить с использованием параметров Азимут и Абсолютная высота, координаты можно установить, непосредственно указывая их координаты.

- При установке источника при помощи параметра Sun Angle Calculator можно указать любую географическую точку. Можно также задать дату и время демонстрации светового эффекта.

Date - дата. Time - время. Latitude - широта. Longitude - долгота.

Geographic Location - географическое положение.

Пример.3

В этом примере рассматривается создание **удаленного** источника освещения Для задания источника применяется методика географического положения - город Нью-Йорк. 20 июня, 14:00.

5. Создание новых материалов Изменение материалов.

*Создание материалов.*

Для этого вызывается диалоговое окно Материалы.

Можно создавать материалы четырех типов: Standard. Granite. Marble. Wood. После выбора типа материала нужно нажать на кнопку New.

В зависимости от выбранного типа материала открывается диалоговое окно, в котором можно устанавливать разные параметры, касающиеся нового материала.

*Изменение материалов*

В диалоговом окне Материалы выберите необходимый материал и нажмите кнопку Modify.

6. Усложненное тонирование в диалоговом окне Render.
Панель инструментов: Тонирование - Тонирование
Меню: Вид - Тонирование - Тонирование
Команда: RENDER

*Раздел Rendering Procedures*

query for selection. При установленном флажке перед началом тонирования следует запрос о выборе объектов. В противном случае тонирование применяется ко всем объектам на экране:

crop windows. При установленном флажке выбор объектов для тонирования можно выполнять с помощью прямоугольной рамки выбора;

skip render dialog. При установленном флажке тонирование выполняется сразу же, без вызова диалогового окна Render.

*Параметр Light Icon Scale*

Задает размер значка источника освещения.

*Параметр Smoothind Angle*

Этот угол определяет сглаживание соприкасающихся граней.

По умолчанию он = 45°. При большем значении стык станет заметным. При меньшем - увеличиться время тонирования.

*Раздел Rendering Options (параметры тонирования).* В этом разделе можно установить следующие параметры:

Smooth Shade (Сглаживание) - когда этот флажок установлен, программа сглаживает шероховатости, возникающие при тонировании на стыках граней.

Apply Materials (Добавление материалов) - этот параметр позволяет назначать поверхности объекта различные материалы. Когда флажок не установлен используется материал, принятый по умолчанию.

- Shadows (Тени) - позволяет формировать тени.

- Render Cashe (Кэширование) - установленный флажок позволяет сохранить информацию о тонировании в файле.

-Кнопка More Option (Дополнительные параметры) - при щелчке на этой кнопке открывается диалоговое окно с дополнительными параметрами тонирования.

*Раздел Destination (Направление вывода)*

Определяется куда будет помещено тонированное изображение.

Viewport options - тонирование выполняется для объектов активного видового экрана; Render Windows option - результат выводится в окно тонирования; File options - результат тонирования сохраняется в файле.

*Раздел Sub Sampling (Тонируемые пиксели)*

Из раскрывающегося списка можно выбрать отношение количества всех пикселей изображения к тонируемым пикселям. При отношении 1:1 тонируются все пиксели.

*Кнопка Background (Фон)*

Команда: BACKGROUND

Параметры: Solid (Сплошная заливка), Gradient (Градиентная заливка),

Image (Изображение), в качестве фона используется растровое изображение,

Merge (Объединить), позволяет произвести объединение предыдущих установок фона с текущим. Для визуализации результатов тонирования можно создать трехмерную модель и произвести тонирование. Затем, не перерисовывая модель, следует произвести ее перенос на некоторое расстояние и затем применить параметр Merge для повторного тонирования модели.

*Кнопка Fog/Depth Cue (Туман/Степень затемнения)*

Команда: FOG

Для создания эффекта тумана следует установить флажок Enable Fog (Включить туман).

Для использования тумана в качестве фона следует установить флажок Fog Background (Туман в качестве фона).

При помощи системы цветов можно устанавливать различные цветовые параметры эффекта. Параметры Near Distance (Ближнее расстояние) и Far Distance (Дальнее расстояние) определяют начальную и конечную точки тумана. Плотность тумана можно указать в процентах в полях ввода Near Fog Procentage (Плотность тумана вблизи) и Far Fog Procentage (Плотность тумана вдали).
7. Тонирование объектов с помощью сцены.
Панель инструментов: Тонирование - Сцены
Меню: Вид - Тонирование - Сцена

Команда: SCENE

Результат тонирования объекта зависит от вида на объект и определенных пользователем источников освещения.

Для сохранения параметров тонирования необходимо определить сцену.

С каждой сценой можно связать конкретный вид и источники освещения.

Созданные сцены перечислены в разделе Scene to Render диалогового окна Тонирование.

Для создания сцены необходимо щелкнуть по кнопке Сцены на панели Тонирование

Пример.4

В этом примере создадим две сцены для модели дома, построенного в примере 2.

. Откройте чертеж дома.

. Щелкните по кнопке Сцены. В открывшемся окне нажмите кнопку New. Введите название первой сцены и выберите источник освещения 1. Нажмите ОК.

. Аналогично создайте вторую сцену, указав источник освещения 2.

. Нажмите кнопку Тонирование и указав первую сцену, завершите процесс тонирования. Просмотрите полученный результат.

. Произведите аналогичные действия для второй сцены.

7.6. Определение и тонирование ландшафта.

Панель инструментов: Тонирование - Новый ландшафт
Меню. Вид - Тонирование - Новый ландшафт

Команда: LSNEW

*Ландшафтными объектами* называются такие объекты, к которым присоединены растровые изображения. Ландшафтные изображения можно подключать для придания модели большей реалистичности.

В открывающемся диалоговом окне показаны все ландшафтные объекты, которые имеются в стандартной библиотеке. Выберите требуемый объект и, щелкнув по кнопке Position, укажите на чертеже положение объекта.

Для просмотра ландшафта необходимо произвести тонирование.

Пример.5

В этом примере рассмотрим присоединение ландшафтных объектов к модели, построенной в примере 3.

. Откройте чертеж, созданный в примере 3.

. Щелкните по кнопке Новый ландшафт и выберите в списке объект Eastern Palm. Укажите его местоположение на чертеже. Аналогичным образом разместите еще пару таких объектов на чертеже.

. Выберите объект Sweetgum Summer и поместите его на чертеж.

. Произведите тонирование.

9. Редактирование ландшафтных объектов.

Панель инструментов: Тонирование - Правка ландшафта Меню: Вид - Тонирование - Правка ландшафта

Команда: LSED1T

. Создание пользовательских ландшафтных объектов. Панель инструментов: Тонирование - Библиотека ландшафта Меню: Вид - Тонирование – Библиотека ландшафта

Команда: LSLIB

. Отображение материала на объектах. Панель инструментов: Тонирование - Разметка Меню: Вид - Тонирование - Разметка

Команда: SETUV

Отображение материала - это метод, позволяющий настраивать координаты и шаблоны материала, присоединенного к объекту.

После выбора команды сначала необходимо выбрать объект. Затем открывается диалоговое окно, в котором можно установить разные параметры:

- указать проекцию материала в форме плоскости, цилиндра, сферы или поверхности.

- координаты проекций материала по отношению к модели можно настроить, щелкнув по кнопке Adjust Coordinates (Настроить координаты).

12. Информация о тонировании.

Панель инструментов - Тонирование - Статистика Меню: Вид - Тонирование - Статистика

Команда: STATS

Отображает информацию о последней операции тонирования.

13. Сохранение тонированного изображения.

Тонированное изображение может быть сохранено в форматах TGA, TIFF, BMP, Postscript, PCX, IFF.

Процедура сохранения файла.

Щелкните по кнопке Тонирование.

В разделе Destination в раскрывающемся списке выберите File.

Щелкните по кнопке More Object (Другие объекты). На экране появится диалоговое окно Параметры файла с тонированным изображением.

Укажите тип файла, разрешение тонирования, цвет и другие необходимые параметры. Нажмите ОК.

-Нажмите кнопку Render. Появится окно Тонирование в файл. Укажите имя файла.

14. Демонстрация тонированного изображения.

Меню: Инструменты - Показ изображения - Вид

Команда: REPLAY

Упражнение 4-5

Выполните тонирование школьной доски и рабочего стола. Создайте свои ландшафтные объекты, соответствующие данной тематике и разместите их на чертеже.

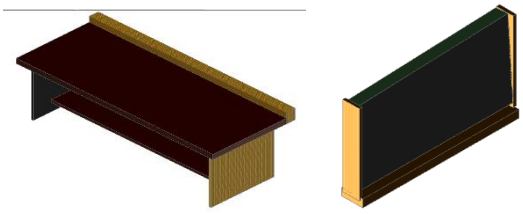


Рисунок 5 – ученические предметы

Упражнение 1

Создайте модель, разместите источники освещения, выполните тонирование таким образом, чтобы вид объекта стал более реалистичным.

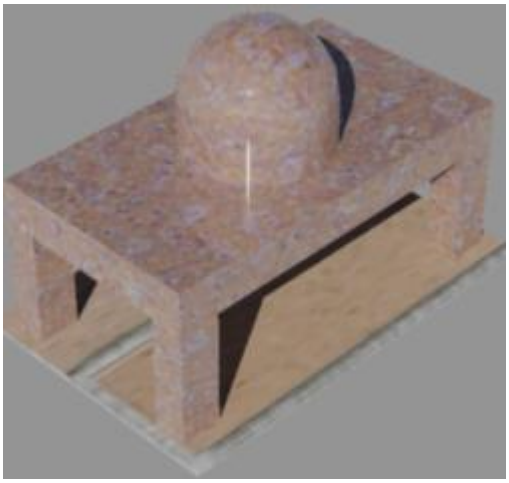


Рисунок 6 – модель для размещения источников света

Обязательная контрольная работа № 2

Оценочные критерии по десятибалльной системе

(профессиональный компонент)

| Номера заданий | Уровень задания | Максимальный балл за задание | Сумма максимальных баллов | Отметка учащегося |
|---|---|---|---|---|
| упражнение 1 | 1 | 4 | 4 | 4 |
| упражнение 2 | 2 | 6 | 10 | 6 |
| упражнение 3 | 3 | 8 | 18 | 8 |
| упражнение 4-5 | 4 | 10 | 28 | 10 |

10 (десять) - 27-28 баллов

9 (девять) - 21 -26 баллов
8 (восемь) - 18-20 баллов

7 (семь) - 12-17 баллов

6(шесть)- 9-11 баллов

5 (пять) - 5-8 баллов

4 (четыре) - 4 балла

Упражнение 2

Создайте модель. Присвойте для нее материалы для тонирования. Разместите точечный источник освещения и прожектор в оконных проемах и нижней части двери. Присоедините к чертежу фон VALLEYL, либо другой фон, а также несколько ландшафтных объектов, а затем выполните тонирование модели.

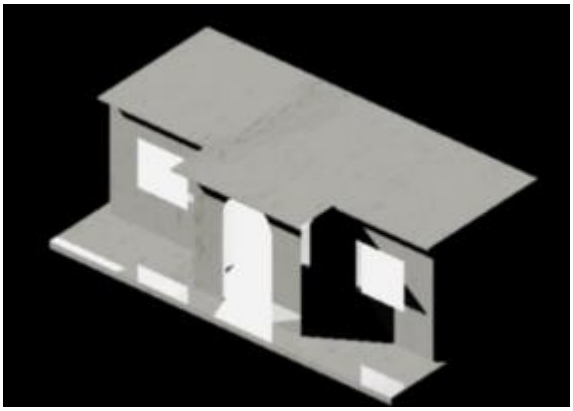


Рисунок 7 – Тонированный предмет

Упражнение 3

Создайте модель, присвойте для нее материалы для тонирования. Наложите на модель эффект тумана.

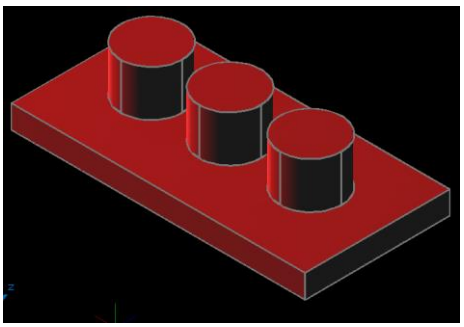


Рисунок 8 – Объект для тонирования

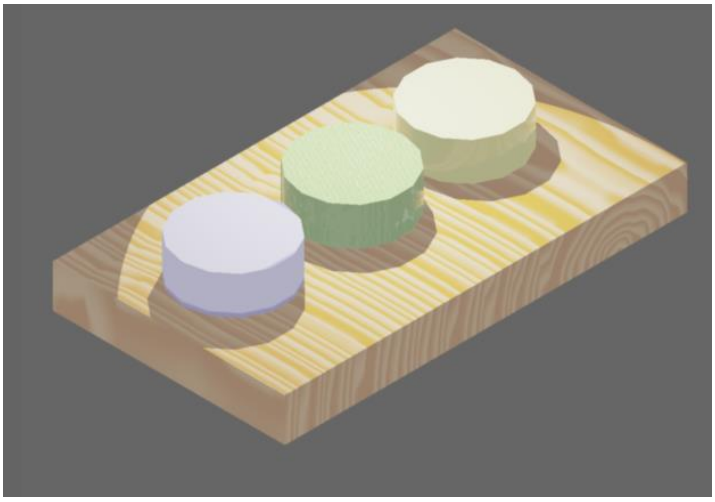


Рисунок 9 – Объект после выполнения команды «Туман»

**Лабораторная работа №8**

«Построение 3D оболочки, разрезы, сложения, вычитания»

1) Строим параллелепипед 200x150x150:

вызываем процедуру «Ящик» (Рисование-> Моделирование->Ящик);

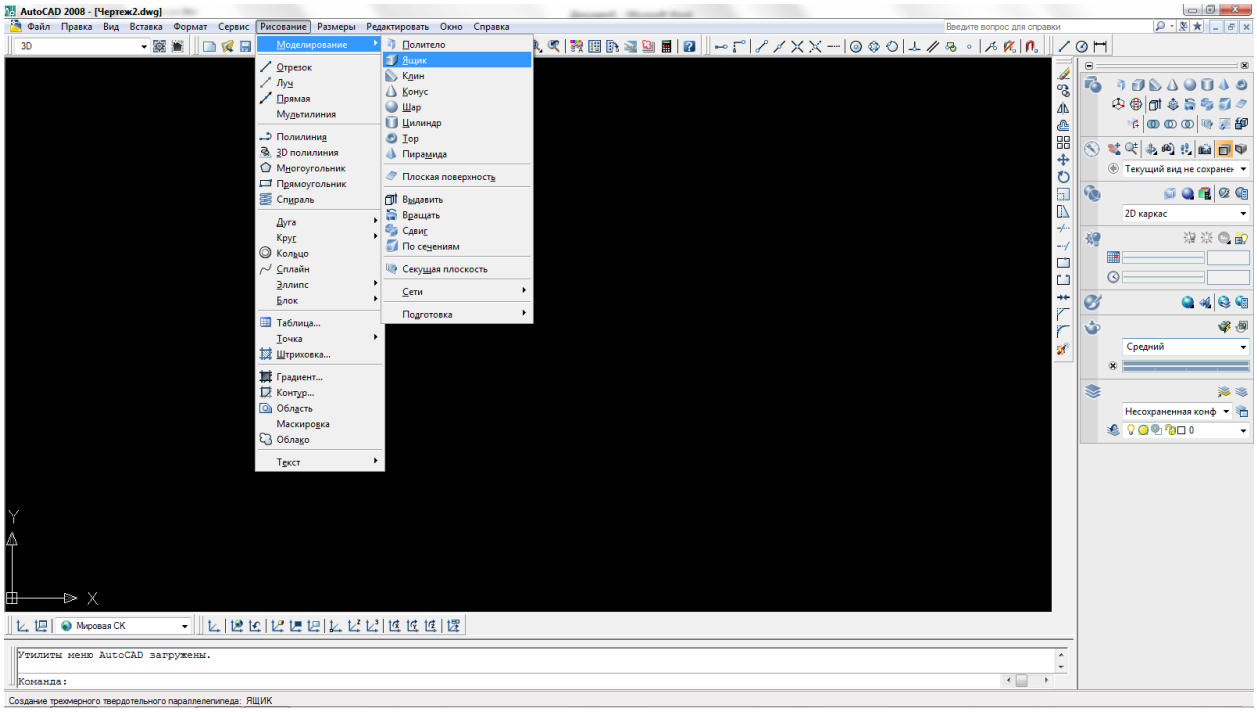



Рисунок 1 – команда Ящик

вводим координаты первого угла параллелепипеда: 0,0;

вводим координату второго угла: 200,150;

задаем высоту: 150.

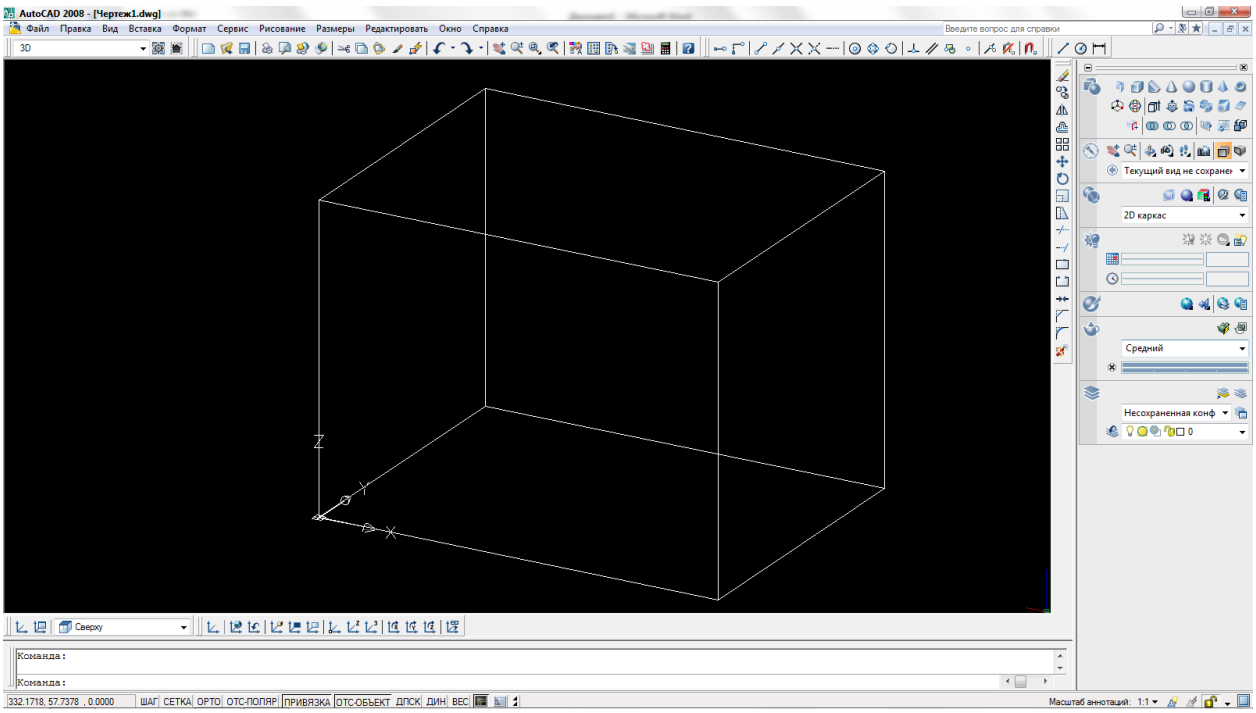



Рисунок 2 – Вид ящика

2) Строим вложенный куб 100x100x100:

вызываем процедуру «Ящик»;

вводим координаты точки: 50,0;

вводим «К» - параметр «Куб»;

вводим значение длины стороны куба и угла: @100<0 (символ «@» означает, что введенные координаты относительны по отношению к указанной точке; угол в нуль градусов – угол между стороной куба и осью OX).

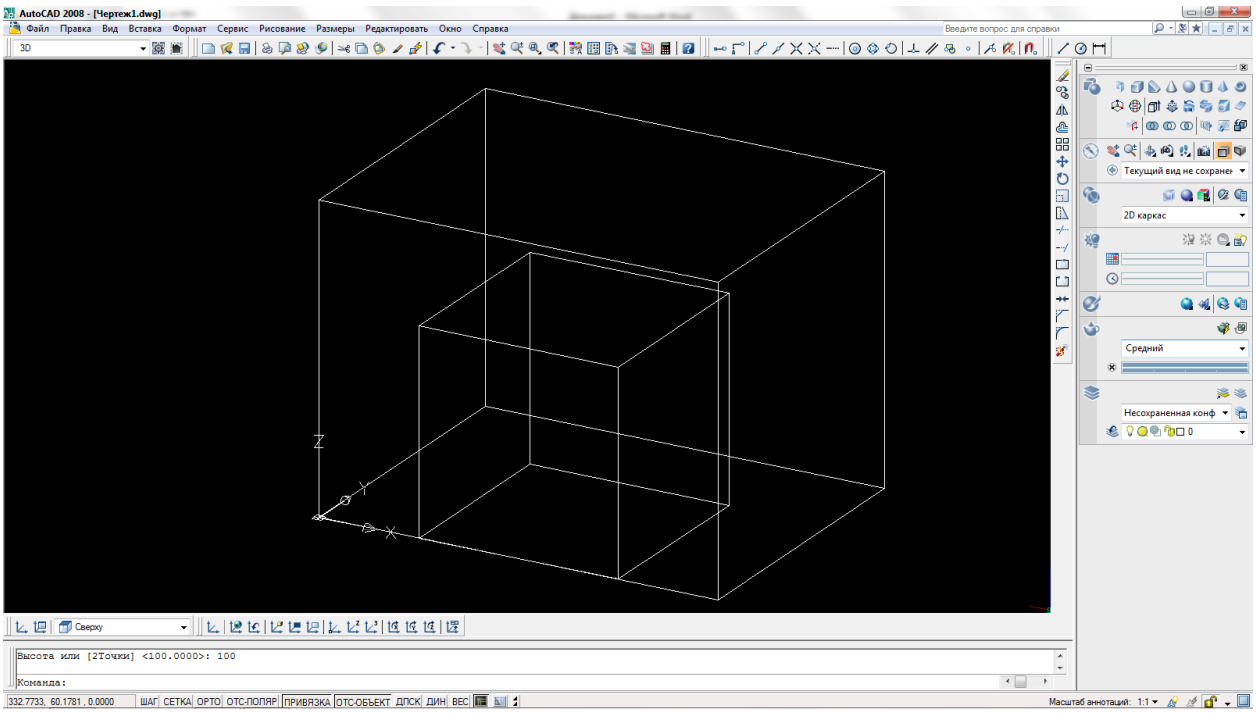



Рисунок 3 – Вид ящика со вторым ящиком внутри

3) Вычтем из большего объекта меньший. Для этого воспользуемся процедурой «Вычитание» (Редактировать-> Редактирование тела-> Вычитание).

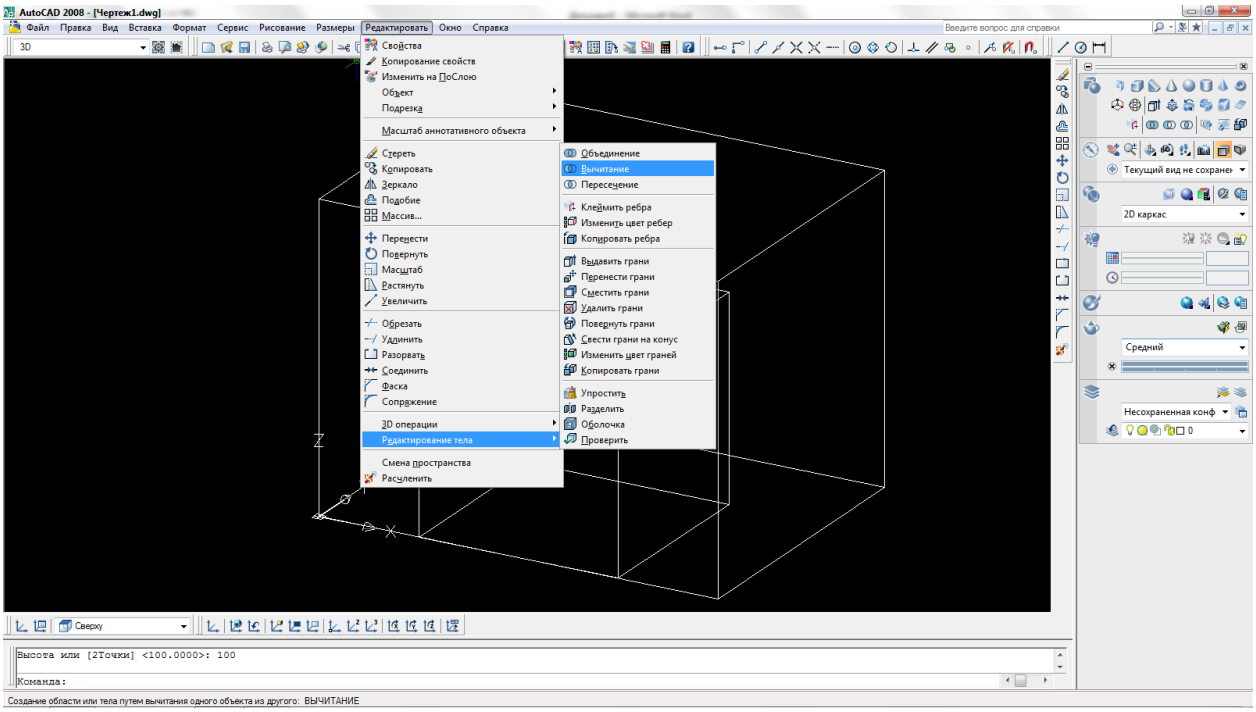



Рисунок 4 – Команда вычитание

Выполняем запросы, указанные в командной строке:

«Выберите тела и области, из которых будет выполняться

вычитание...» - нажимаем ЛКМ по ребру большего параллелепипеда, ПКМ или клавишей «Enter» подтверждаем выбор;

«Выберите тела или области для вычитания ..» - нажимаем ЛКМ по ребру меньшего параллелепипеда. Подтверждаем выбор.

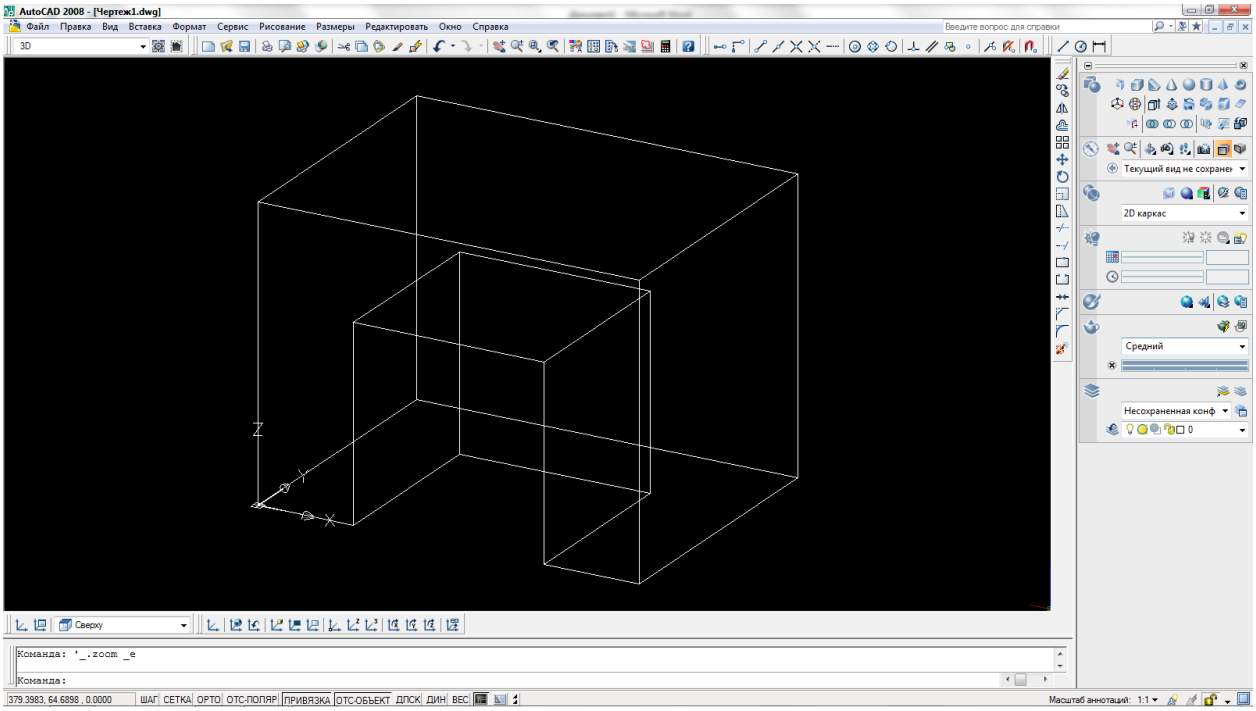



Рисунок 5 – Вид фигуры после вычитания

4) Добавим фаски на ребрах одной грани фигуры. Для этого вызываем процедуру «Фаска» (Редактировать-> Фаска):

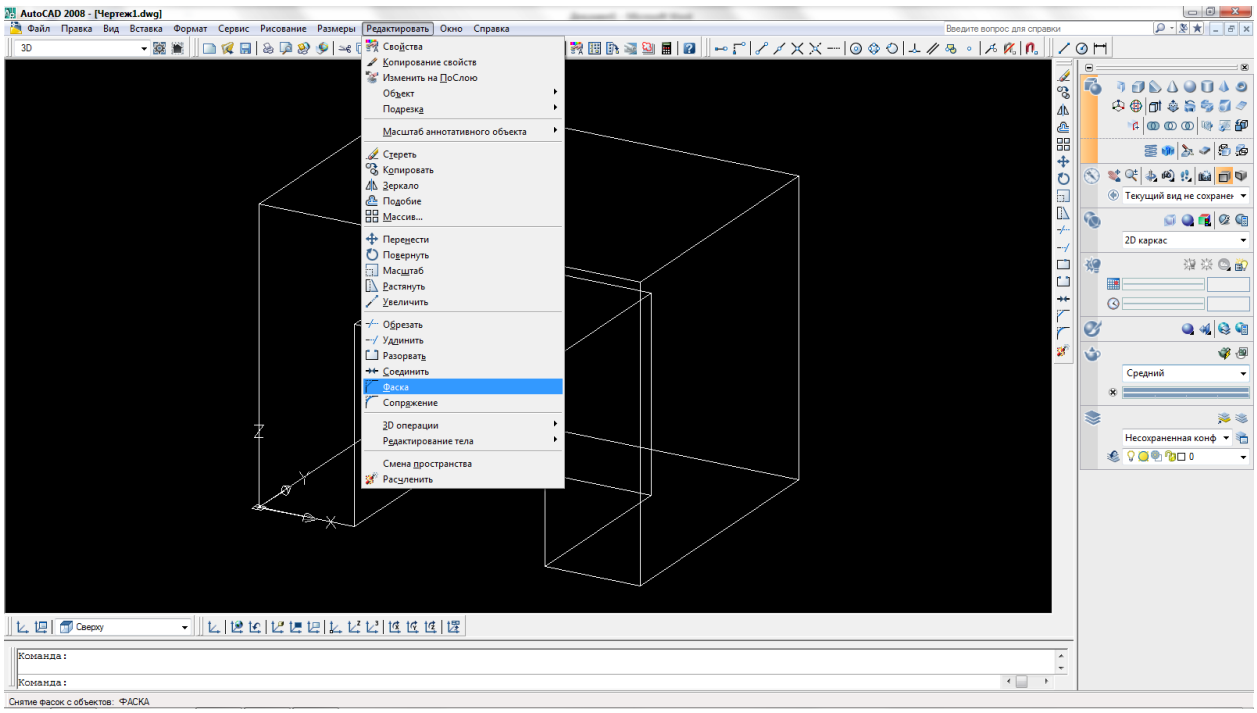



Рисунок 6 – Фаска

выбираем базовую поверхность – одну из граней фигуры:

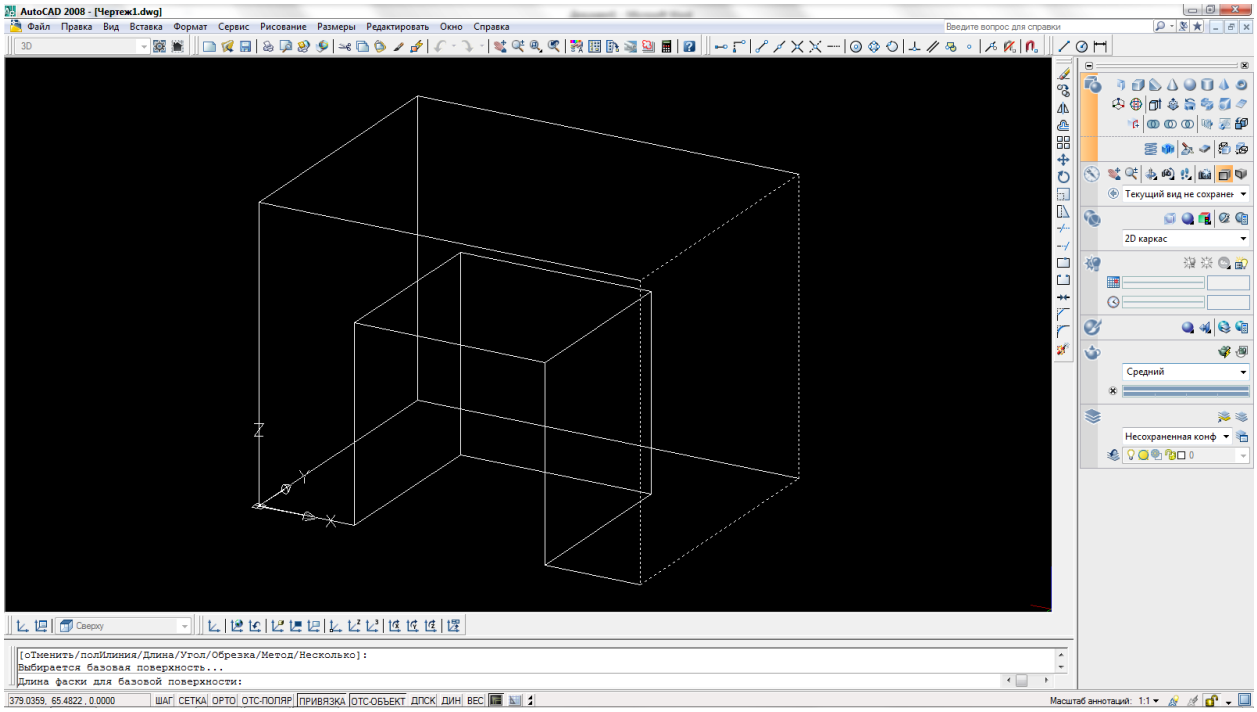



Рисунок 7 – Выбор грани

«Длина фаски для базовой поверхности:» - вводим длину фаски: 10;

«Длина фаски для другой поверхности: <10.0000>» - подтверждаем значение (клавиша «Enter» или ПКМ в поле чертежа);

«Выберите ребро или [КОнтур]:» - Вводим «КО» для выбора контура целиком;

«Выберите замкнутый контур или [Ребро]» - ЛКМ по внешней грани. Подтверждаем выбор клавишей «Enter» (или ПКМ в поле чертежа, и в выпавшем меню ЛКМ по строке «Enter»).

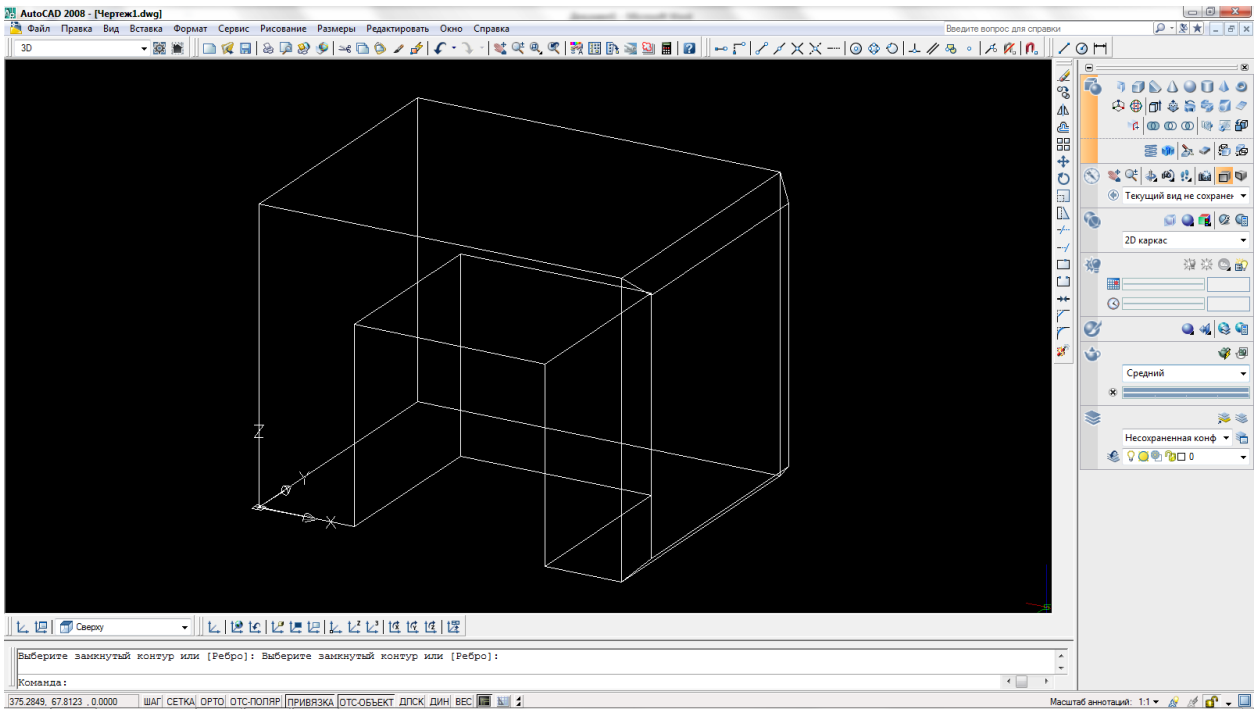



Рисунок 8 – Итог команды Фаска для грани

5) Повторяем команду «Фаска». Выбираем грань фигуры, противоположную предыдущей грани. Подтверждаем выбор, длины фасок; выбираем контур; подтверждаем выбор.

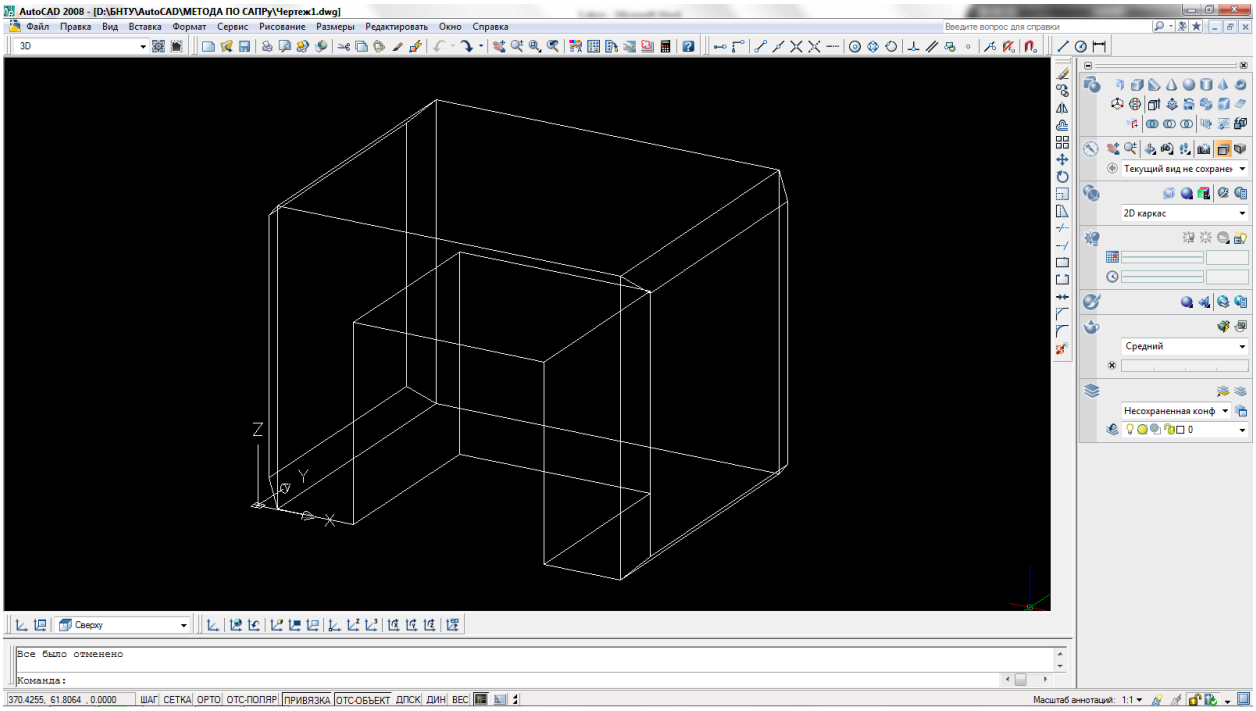



Рисунок 9 – Выбор граней

6) Строим цилиндр на верхней грани фигуры (Рисование-> Моделирование->Цилиндр):

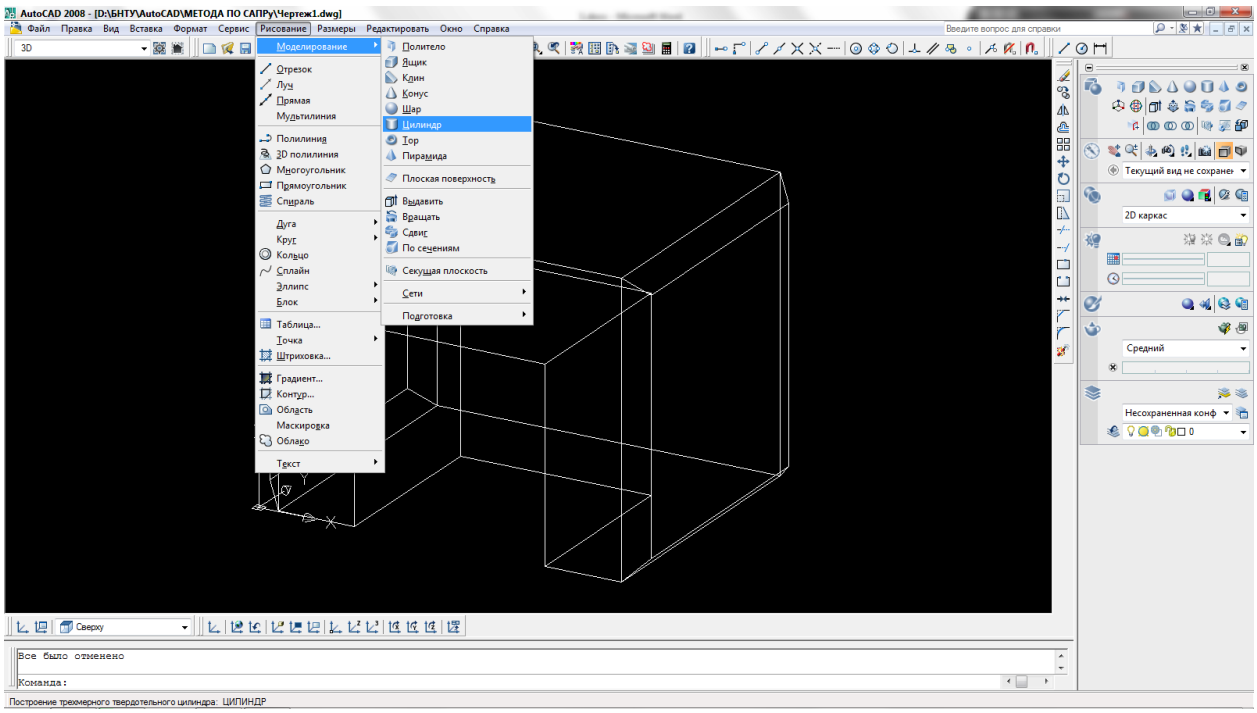



Рисунок 10 – Построение цилиндра

Используя «Объектное отслеживание» и «Привязку» (Середина), устанавливаем центр цилиндра в точке пересечения перпендикуляров к серединам ребер фигуры;

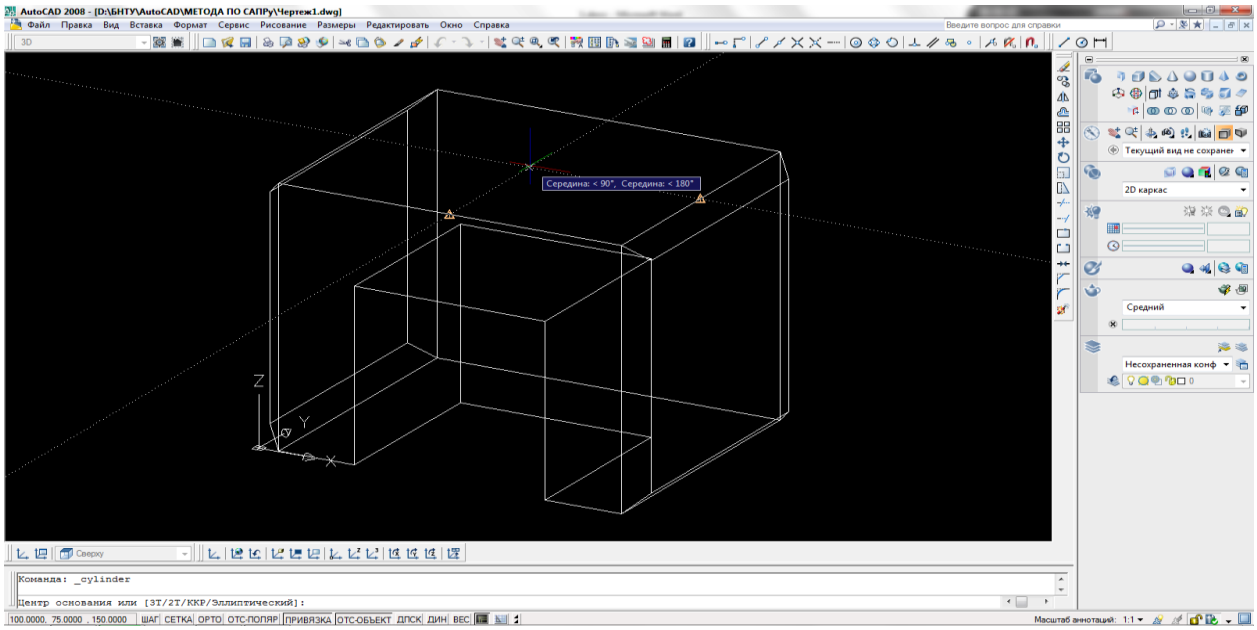



Рисунок 11- Команда ОБЪЕКТНОЕ ОТСЛЕЖИВАНИЕ

задаем радиус основания: 50 (или Диаметр: 100);

назначаем высоту цилиндра: 50.

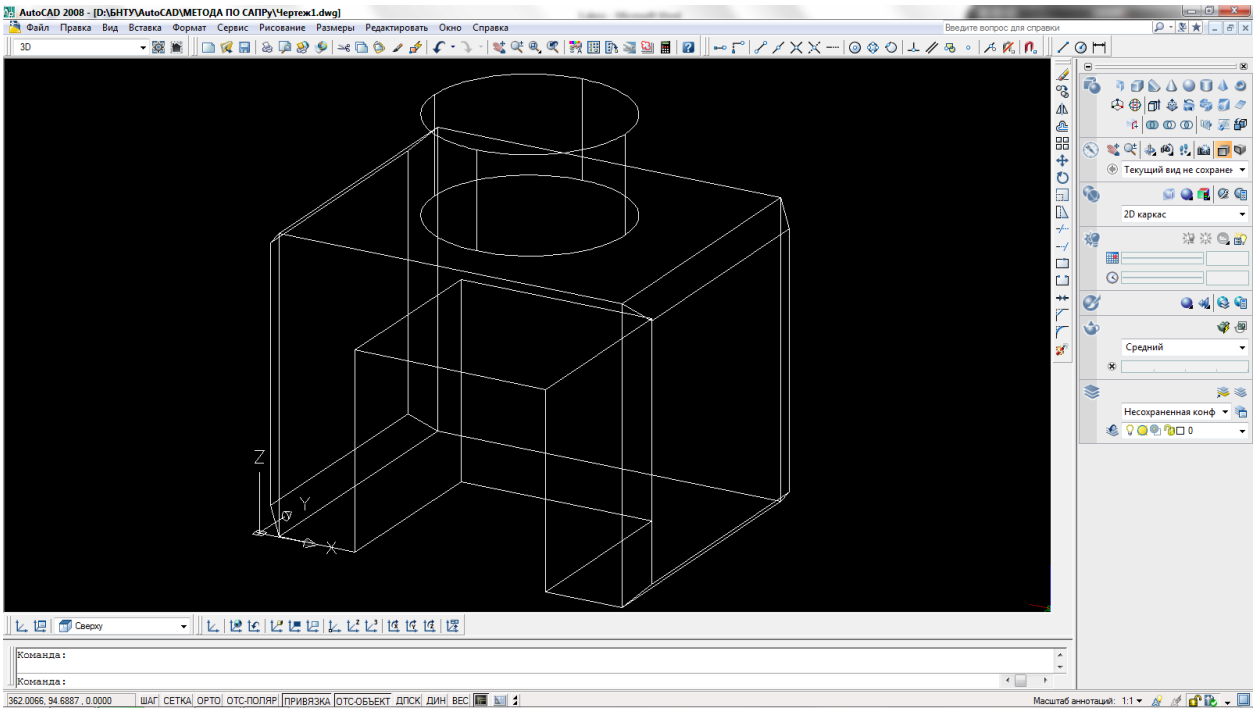



Рисунок 12 – Высота цилиндра

7) Строим фаску для верхней грани цилиндра (Редактировать-> Фаска):

выбираем цилиндр;

подтверждаем длины фасок;

выбираем окружность в верхней грани цилиндра;

подтверждаем выбор.

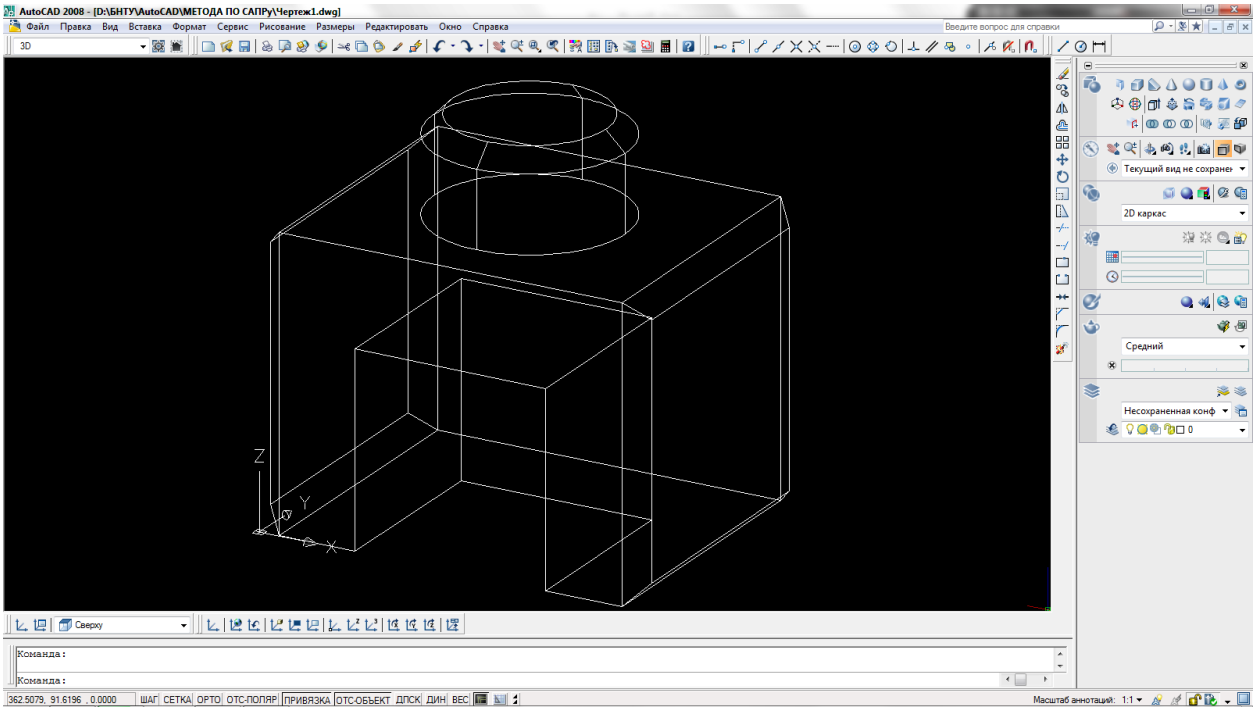



Рисунок 13 – Фаска цилиндра

8) Строим сопряжение ребер задней грани фигуры, используя процедуру «Сопряжение» (Редактировать->Сопряжение):

выбираем верхнее ребро на задней стенке фигуры;

вводим радиус сопряжения: 30;

выбираем восемь ребер задней стороны фигуры;

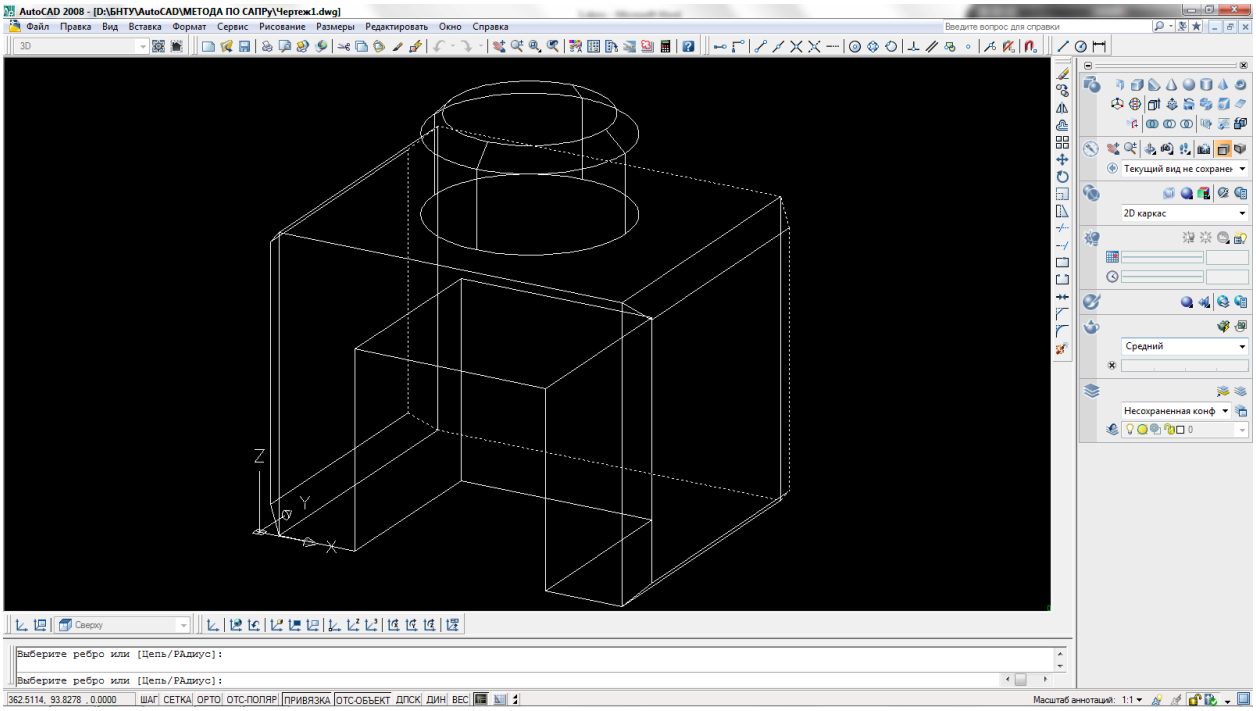



Рисунок 14 – Фаска задней грани

подтверждаем выбор.

9) Объединяем цилиндр с фигурой. Воспользуемся процедурой «Объединение» (Редактировать-> Редактирование тела-> Объединение):

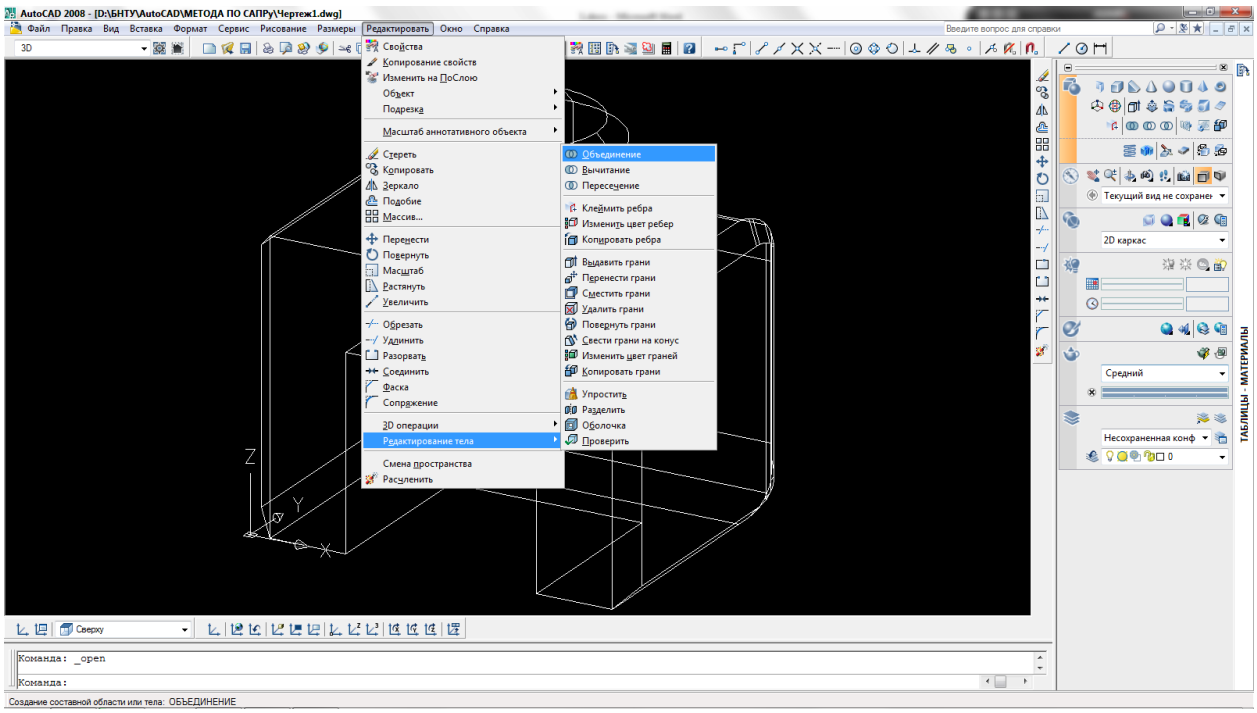



Рисунок 15 – Команда Объединение

выбираем фигуру, затем цилиндр и подтверждаем выбор.

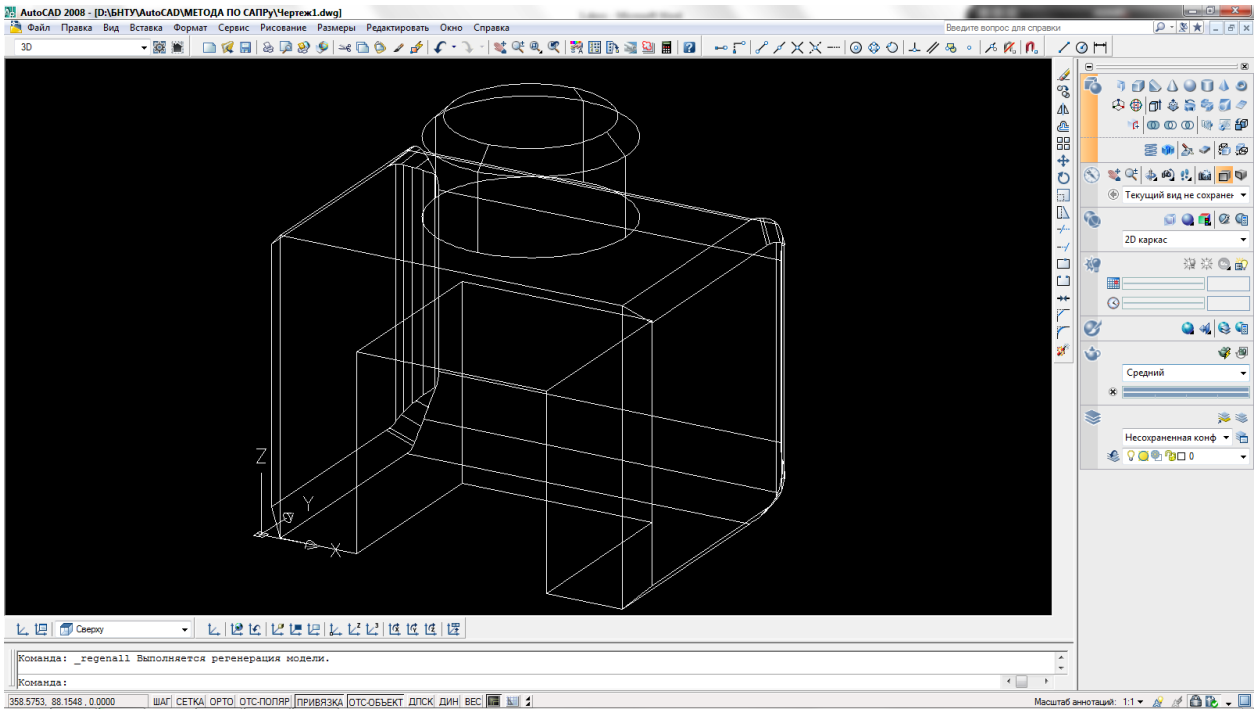



Рисунок 16 – Итог построения модели в каркасе.

Теперь выберем для нашей фигуры материал. Для этого зайдите в меню ВИД – Тонирование– Материалы. Назначаем уже имеющиеся материалы для объектов, или же создаем свои.

При затруднении в выполнении тонирования фигуры пользуйтесь справкой F1 или же консультируйтесь у преподавателя.

Пример готовой фигуры:

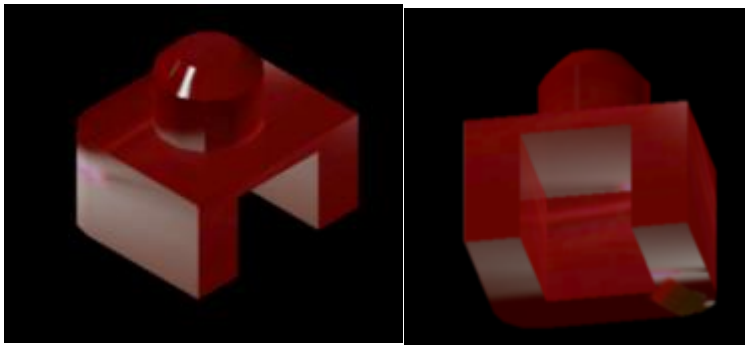


Рисунок 17 – Вид готовой модели

Задание:

После выполнения построй фигуры изображенные ниже. А также выполните разрез трубы.

Рисунок для самостоятельного выполнения (размеры, цвет и параметры задаем самостоятельно, при затруднении в выполнении пользуйтесь справкой F1).

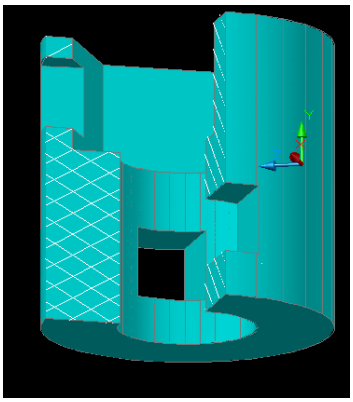


Рисунок 18 - Задание

После успешного выполнения задания Вы можете считать себя уже далеко не новым человеком в АвтоКаде.

Установим на пустом экране в качестве вида юго-западную изометрию. Построим два круга с центрами в начале координат и радиусами 100 и 80.

Преобразуем их в области. Из большой области вычтем малую и получим область в форме кольца (рисунок 19).

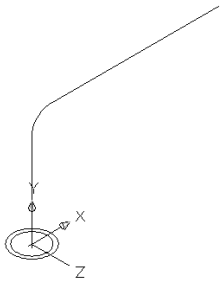



Рисунок 19 - Построение области в форме кольца

На рисунке показана также будущая траектория выдавливания. Для ее построения с помощью кнопки панели инструментов UCS (ПСК) повернем оси на угол (до вертикального положения).

В новой системе координат построим полилинию из трех сегментов: первый из них является прямолинейным с вершинами в точках с координатами (0,0) и (0,500), второй сегмент — дуговой, касающийся первого и заканчивающийся в точке (100,600), а третий сегмент — снова прямолинейный, касающийся дугового и заканчивающийся в точке (1000,600) (у всех точек координата (равна нулю). Вызовем команду EXTRUDE (ВЫДАВИТЬ). На запрос о выборе объектов укажите область в форме кольца. Следующий запрос: (Глубина выдавливания или [Траектория]:)

Выберите опцию Траектория. Далее система выдаст запрос: Траектория выдавливания: Укажите полилинию в качестве траектории выдавливания. Результат (при выполненном раскрашивании по Гуро) приведен на рисунок 20. Команда INTERFERE (ВЗАИМОД) позволяет создать тело, занимающее общий объем двух или более тел. Команде соответствует кнопка панели инструментов Тела.

Рисунок 20 – Построение трубы с помощью выдавливания

Разрезы и сечения

Команда РАЗРЕЗ, которой соответствует кнопка панели инструментов Тела, позволяет разрезать тело плоскостью на два тела и, при необходимости, одно из них удалить. Рассмотрим эту команду на примере построенной нами трубы (см. рисунок 20). С помощью команды ПСК перейдите в МСК. Щелкните мышью по кнопке и на запрос об объектах выберите трубу. Следующий запрос: (Первая тонка на режущей плоскости [Объект/2ось/Вид/X¥/¥2/7X/3точки]<3точки>:)

Нажмите клавишу <Enter>, подтверждая выбор плоскости разреза тремя точками. Далее последовательно следуя запросам, введите следующие точки: (100,-50,100), (-100,80,100) и (300,0,600). Системе теперь необходимо сообщить, какие тела оставить: Укажите точку с нужной стороны от плоскости [Обе стороны]:
Выберите опцию Обе стороны. Труба разделится на два тела, причем в одном теле будут две непересекающихся части. Отодвиньте (например, за ручки) одно тело влево. Результат проделанных операций приведен на рисунок 21. Для наглядности выполнено раскрашивание по Гуро.

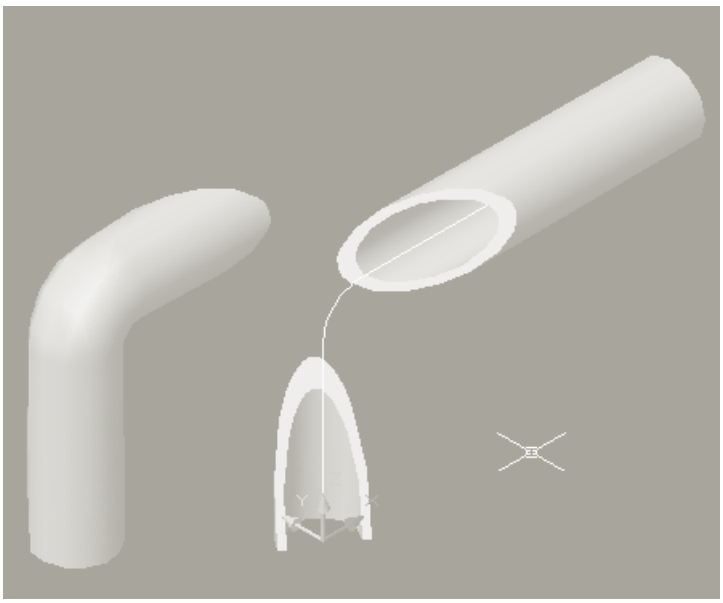


Рисунок 21 – Разрезание тела плоскостью

Правое тело в случае необходимости можно разбить на два отдельных тела с помощью кнопки панели Редактирование тел. Команда СЕЧЕНИЕ, которой соответствует кнопка панели инструментов Тела, строит сечение тела, образуя в результате область с линиями сечения, которую можно затем вынести и использовать в чертеже.

Над телами можно выполнять операции общего редактирования (удаление, перемещение, копирование и т. п.). В падающее меню (Редактировать) входит подменю (3D операции), в котором собраны следующие полезные пункты:

3D массив — создание трехмерного массива (команда 3DARRAY (3D - МАССИВ));

3D зеркало — создание зеркальной копии объектов относительно заданной плоскости (команда MIRROR3D (3-ЗЕРКАЛО));

3D поворот — поворот объектов вокруг произвольной оси в пространстве (команда ROTATE3D (3-ПОВЕРНУТЬ));

Выровнять — выравнивание объектов с другими точками или объектами в двумерном и трехмерном пространствах (команда ВЫРОВНЯТЬ).

Операции построения фасок и сопряжения граней тел с помощью команд ФАСКА и СОПРЯЖЕНИЕ были рассмотрены в предыдущем разделе. В связи с особой организацией твердотельных объектов (примитивов типа 3D Разрез) их ручки нельзя использовать для таких действий, как растягивание,

модификация граней и ребер и т. п. Для этих целей предусмотрена панель инструментов Solids Editing (Редактирование тел) (рисунок 22).

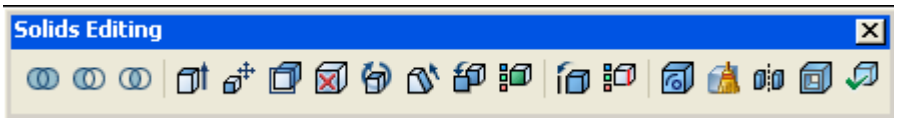



Рисунок 22. Панель инструментов Solids Editing )

Первые три кнопки панели соответствуют операциям объединения, вычитания и пересечения тел, аналогичным одноименным операциям над областями, рассмотренным ранее. Другие кнопки соответствуют опциям команды SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ):

— выдавливание граней тела на заданную глубину или вдоль траектории;

— перенос граней тела на заданное расстояние;

— равномерное смещение граней на заданное расстояние или до указанной точки;

— удаление граней тела вместе с сопряжениями и фасками;

— поворот граней вокруг заданной оси;

— сведение граней на конус под заданным углом;

— создание копий граней тела в виде областей или твердотельных оболочек;

— изменение цвета отдельных граней;

— создание копий ребер тела в виде отрезков, дуг, окружностей, эллипсов или сплайнов;

— изменение цвета ребер;

— создание клейма (нового ребра, являющегося отпечатком другого объекта) на грани;

— удаление лишних ребер и вершин;

— разделение многосвязных тел (занимающих несколько замкнутых объемов в пространстве) на отдельные тела (см. пример на рис. 9.90);

— создание полой тонкостенной оболочки заданной толщины;

— проверка, является ли объект допустимым телом.

Все эти операции могут быть выполнены также через подменю Solids Editing (Редактирование тел) падающего меню Modify (Редактирование). Команда SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ), выполняющая все перечисленные операции редактирования твердотельных объектов, начинает свою работу с сообщения: Автоматическая проверка тел при редактировании: SOLIDCHECK=1 Задайте опцию редактирования тела {Грань/Ребро/Тело ACIS/Отменить/ выХод] <выХод>:
Системная переменная SOLIDCHECK, значение которой показывается в первой строке, управляет режимом проверки корректности тел, создаваемых в операциях редактирования. Если значение переменной равно 1, то автоматическая проверка выполняется, если 0 — то не выполняется (тогда проверку надо осуществлять с помощью специального средства команды SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ)).
В первом запросе команда SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ) предлагает четыре опции:

Face (Грань) — режим редактирования граней;

Edge (Ребро) — режим редактирования ребер;

Body (Тело ACIS) — специальный режим работы с телом (проверка, клеймение и т. п.);

Undo (Отменить) — отмена последней операции редактирования тела;

eXit (выХод) — завершение работы команды.

В случае выбора опции Face (Грань) система AutoCAD предлагает операции редактирования граней:
Задайте опцию редактирования грани [Выдавить/пеРенести/Повернуть/ Сместить/коНус/Удалить/Копировать/Цвет/ Отменить/выХод] <выХод >:
В данном списке опций первые восемь соответствуют операциям, связанным с кнопками редактирования граней панели Solids Editing (Редактирование тел), уже рассмотренными ранее. Последние две опции позволяют отменить предыдущую операцию редактирования или выйти из режима редактирования граней.
Если в ответ на первый запрос команды SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ) вы выберите опцию Edge (Ребро), то перейдете в режим редактирования ребер:
Задайте опцию редактирования ребра [Копировать/Цвет/Отменить/выХод]

<выХод>:

В этот момент вам доступны опции копирования ребра (в качестве нового отрезка, дуги, окружности, эллипса или сплайна) или изменения цвета ребра. Если в начале работы команды SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ) выбрать опцию Body (Тело ACIS), то система запрашивает: Задайте опцию редактирования тела [Клеймить/Разделить/о Волочка/ У простить/Проверить/Отменить/выХод] <выХод >: Здесь первые пять опций соответствуют операциям над телами, описанных, в целом, при перечислении последних пяти кнопок панели Solids Editing (Редактирование тел). На рисунке 23 – 26 проиллюстрированы результаты выполнения нескольких операций. Слева на каждом рисунке показано тело до операции, справа — после редактирования.

На рисунке 23 правая боковая (более темная) грань повернута на 15° относительно нижнего ребра этой грани. Другие грани продлены.

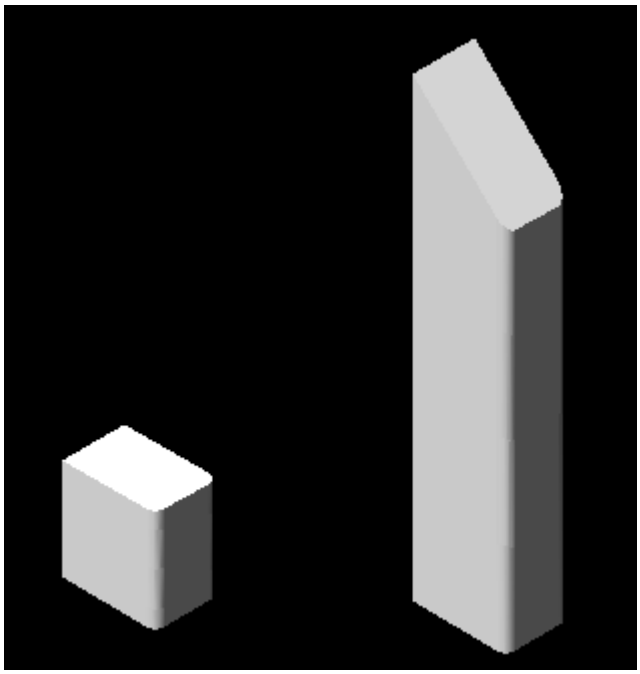


Рисунок 23 - Поворот грани тела

На рисунке 24 продемонстрировано смещение грани (построение параллельной поверхности). Правая боковая цилиндрическая грань смещена по нормали. Другие грани продлены до пересечения с изменившейся гранью. На рисунке 25 в плоскости верхнего основания куба расположен прямоугольник. После операции клеймения три отрезка (части контура прямоугольника) добавлены в ребра, расположенные на верхней грани тела.

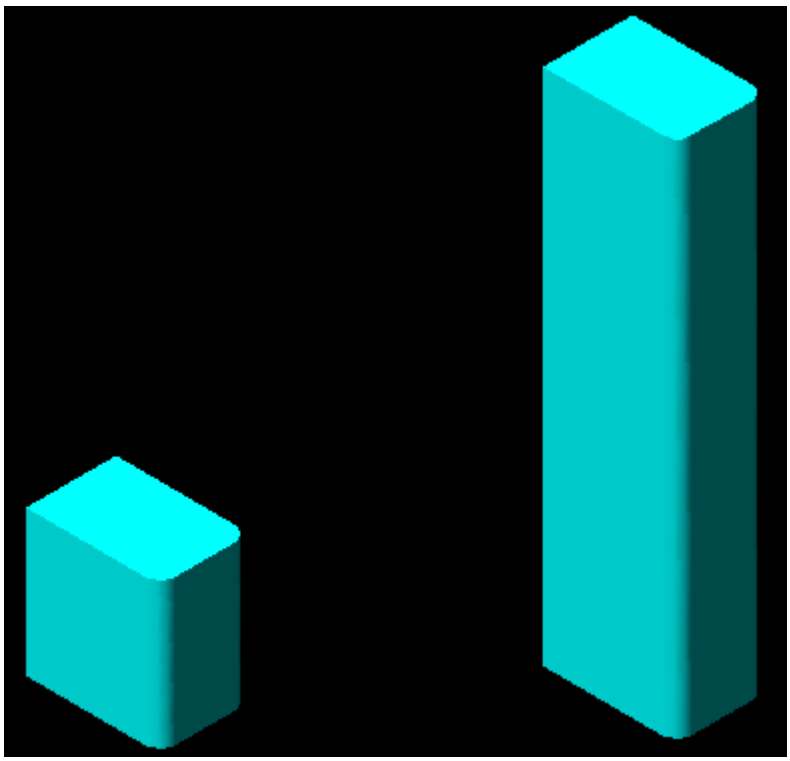


Рисунок 24 – Параллельное смещение грани тела

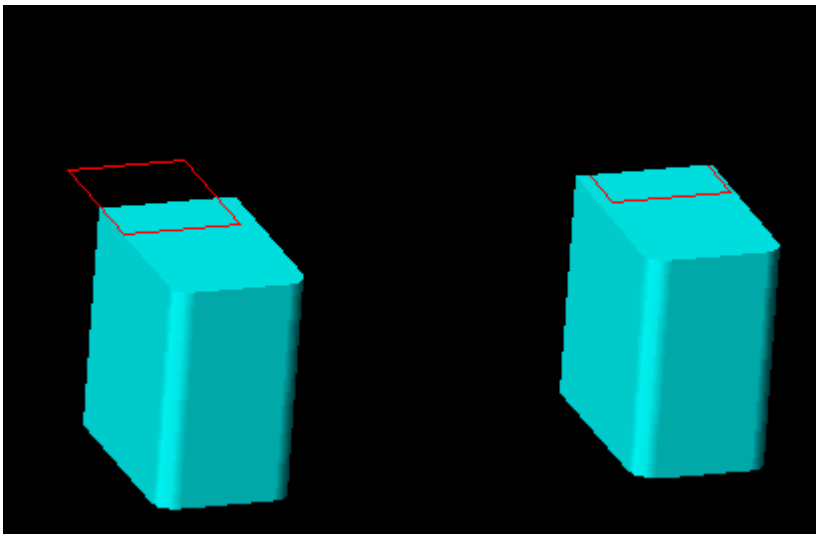


Рисунок 25 – Клеймение грани тела

На рисунке 26 проиллюстрирована операцию построения тонкой оболочки к стенкам куба (правая боковая грань из операции исключена).

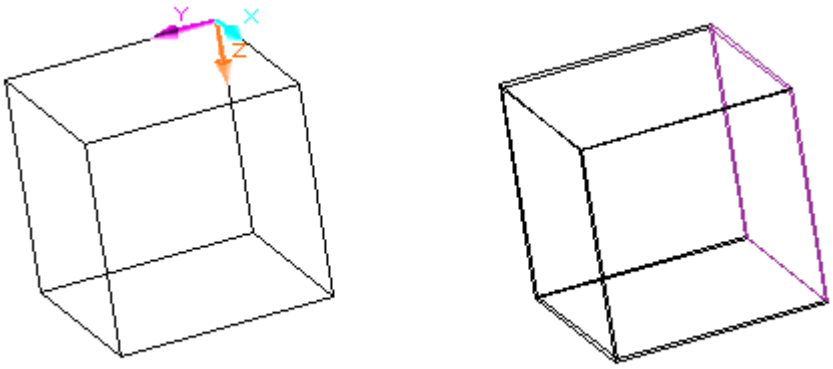



Рисунок 26 – Построение тонкой оболочки тела

Примеры:

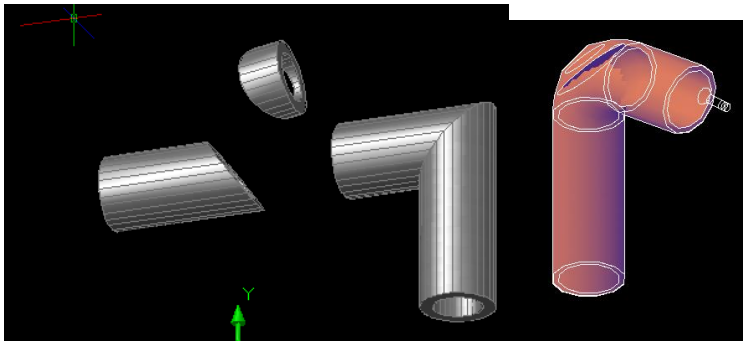



Рисунок 27 – Примеры выполнения

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. Основы работы с MathCAD

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основное окно приложения имеет ту же структуру, что и большинство приложений Windows. Сверху вниз располагаются заголовок окна, строка меню, панели инструментов (стандартная и форматирования) и рабочий лист, или рабочая область, документа. Новый документ создается автоматически при запуске MathCAD. Файлы документов в MathCAD имеют расширение .mcd.

Большинство команд можно выполнить как с помощью меню (верхнего или контекстного), так и панелей инструментов или клавиатуры.

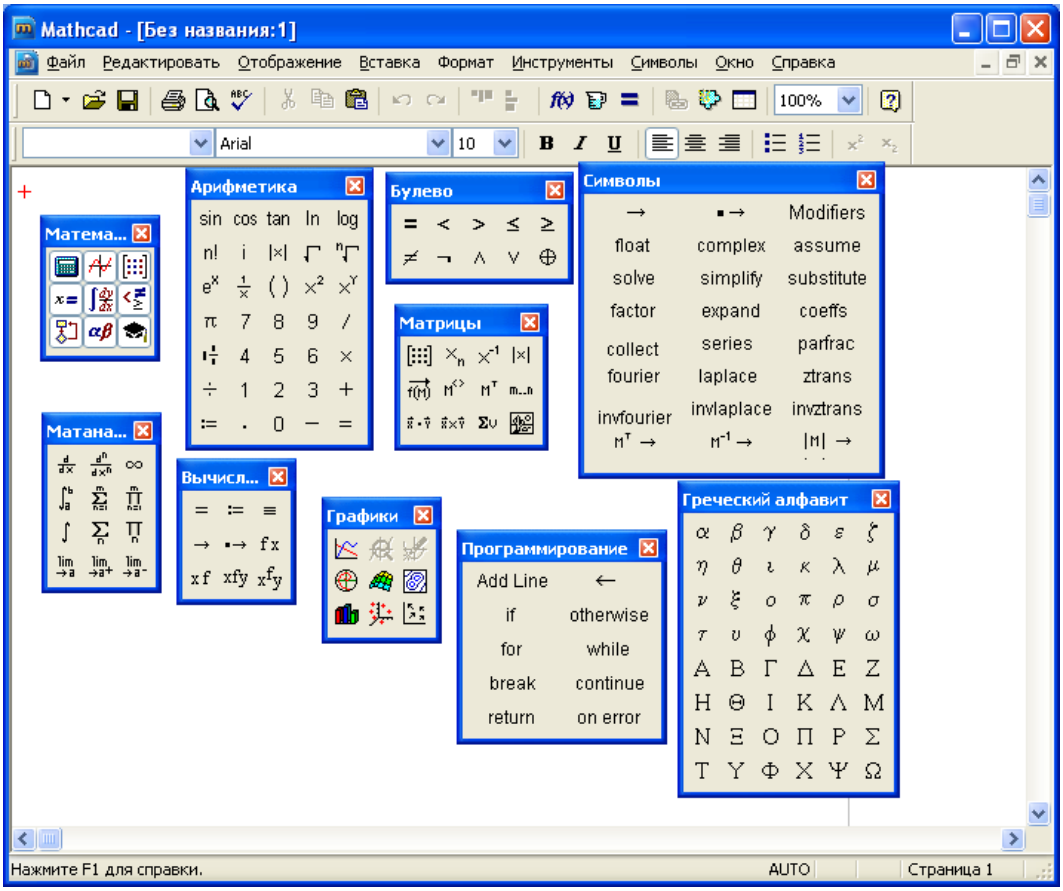



Рисунок 1.1 – Основное окно

Панель Math (Математика) предназначена для вызова на экран еще девяти панелей, с помощью которых происходит вставка математических операций в

документы. Чтобы вызвать какую-либо из них, нужно нажать соответствующую кнопку на панели Математика.

Рисунок 1.2 – Панель Math

В окне редактирования формируется документ MathCAD. Новый документ получает имя Untitled (Без названия) и порядковый номер. Одновременно открыто может быть до восьми документов.

Документ состоит из трех видов областей: формульных, текстовых и графических. Расположение нетекстовых блоков в документе имеет принципиальное значение. Области просматриваются системой, интерпретируются и исполняются. *Просмотр идет слева направо и сверху вниз.*

*Для ввода текстового комментария* нужно выполнить команду Text Region (Текстовая область) из пункта меню Insert или нажать клавишу с двойной кавычкой (“), или нажать на кнопку текста на панели инструментов. Текстовая область служит для размещения текста между формулами и графиками.

При этом в месте ввода появляется курсор в виде вертикального штриха, на место которого вводятся символы текста. Внутри текста курсор перемещается клавишами перемещения курсора. Переход на новую строку производится нажатием на клавишу Enter. Для окончания ввода нужно щелкнуть мышью вне текстовой области.

*Для ввода формулы* нужно установить указатель мыши в свободном месте окна редактирования и щелкнуть левой кнопкой мыши. Появится визир в виде красного крестика. Он указывает место, с которого начинается набор формулы.

Константы и переменные

Константами называются поименованные объекты, хранящие некоторые значения, которые не могут быть изменены.

В MathCAD применяются десятичные, восьмеричные и шестнадцатеричные числовые константы. Десятичные константы могут быть целочисленными, вещественными, заданными с фиксированной точкой, и вещественными, заданными в виде мантиссы и порядка.

В MathCAD содержится особый вид констант - размерные. Помимо своего числового значения они характеризуются еще и указанием на то, к какой физической величине они относятся. Для этого указания используется символ умножения. В системе MathCAD заданы следующие основные типы физических величин: time (время), length (длина), mass (масса) и charge (заряд). При необходимости их можно изменить на другие.

Переменные являются поименованными объектами, которым присвоено некоторое значение, которое может изменяться по ходу выполнения программы. Тип переменной определяется ее значением; переменные могут быть числовыми, строковыми, символьными и т. д. Имена констант, переменных и иных объектов называют идентификаторами.

Имя переменной называется идентификатором. MathCAD различает в идентификаторах символы верхнего и нижнего регистров. Например: ABC и AbC имена разных переменных.

Идентификаторы MathCAD должны начинаться с буквы и могут содержать следующие символы:

латинские буквы любого регистра;

арабские цифры от 0 до 9;

символ подчеркивания (_), символ процент (%) и символ (.);

буквы греческого алфавита (набираются с использованием клавиши Ctrl или применяется палитра греческих букв).

Определение переменных

Переменные должны быть предварительно определены пользователем, т. е. им необходимо хотя бы однажды присвоить значение. В качестве оператора присваивания используется знак: =, тогда как знак = отведен для вывода значения константы или переменной. Попытка использовать неопределенную переменную ведет к выводу сообщения об ошибке.

В MathCAD различают: локальные и глобальные переменные.

Локальные переменные вводятся:

Имя_переменной: выражение

На экране:

Имя_переменной:= выражение

Глобальные переменные вводятся:

Имя_переменной ~ выражение

На экране:

Имя_переменной ≡ выражение

Если переменной присваивается начальное значение с помощью оператора :=, такое присваивание называется локальным. До этого присваивания переменная не определена и ее нельзя использовать. MathCAD читает рабочий документ слева направо и сверху вниз, поэтому определив переменную, ее можно использовать в вычислениях везде правее и ниже равенства, в котором она определена. Однако с помощью знака ≡ (три горизонтальные черточки) можно обеспечить глобальное присваивание, т. е. оно может производиться в любом месте документа. К примеру, если переменной присвоено таким образом значение в самом конце документа, то она будет иметь это же значение и в начале документа.

Например:

| Ввод с клавиатуры | Вид на экране |
|---|---|
| local:137 | local := 137 локальное определение переменной local; |
| global~987.23 | global ≡ 987.23 глобальное определение переменной lobal. |

Переменные могут использоваться в математических выражениях, быть аргументами функций или операндом операторов.

Переменные могут быть и размерными, т. е. характеризоваться не только своим значением, но и указанием физической величины, значение которой они хранят. Проведение расчетов с размерными величинами и переменными особенно удобно при решении различных физических задач.

Предопределенные переменные

Предопределенные (системные) переменные – особые переменные, которым изначально системой присвоены начальные значения.

Таблица 1.1 – Предопределённые переменные

| Переменная | Ввод | Назначение | Значение по умолчанию |
|---|---|---|---|
| π | Ctrl + Shift + p | Число π | 3.14159 |
| e | e | Основание натурального логарифма | 2.718 |
| ∞ | Ctrl + Shift + z | Системная бесконечность | $10^{307}$ |
| i или j | 1i или 1j | Мнимая единица | |
| % | | Процент | 0.01 |
| TOL | | Погрешность численных методов | 0.001 |
| ORIGIN | | Нижняя граница индексации массивов | 0 |

Операторы

*Операторы* - элементы языка, с помощью которых можно создавать математические выражения. К ним, например, относятся символы арифметических и логических операций, знаки вычисления сумм, произведений, производной и интеграла и т. д.

Операторы, обозначающие основные арифметические действия, вводятся с панели Calculator (Калькулятор, Арифметика).

Вычислительные операторы вставляются в документы при помощи панели инструментов Calculus (Матанализ). При нажатии любой из кнопок в документе появляется символ соответствующего математического действия, снабженный несколькими местозаполнителями. Количество и расположение местозаполнителей определяется типом оператора и в точности соответствует их общепринятой математической записи.

Результатом действия логических, или булевых, операторов являются только числа 1 (если логическое выражение, записанное с их помощью, истинно) или 0 (если логическое выражение ложно).

Вычислительные операторы сгруппированы на панели Evaluation (Вычисления):

Численный вывод (Evaluate Numerically) =

Символьный (аналитический) вывод (Evaluate Symbolically) →

Присваивание (Definition) :=

Глобальное присваивание (Global Definition) ≡

Таблица 1.2 – Операторы

| Оператор | Клавиша | Назначение оператора |
|---|---|---|
| $X := Y$ | *X : Y* | Локальное присваивание *X* значения *Y* |
| $X \equiv Y$ | *X ~ Y* | Глобальное присваивание *X* значения *Y* |
| $X =$ | *X =* | Вывод значения *X* |
| $X + Y$ | *X + Y* | Сложение *X* с *Y* |
| $X - Y$ | *X - Y* | Вычитание из *X* значения *Y* |
| $X \cdot Y$ | *X * Y* | Умножение *X* на *Y* |
| $\frac{X}{Z}$ | *X / Z* | Деление *X* на *Z* |
| $X \div Y$ | *Ctrl + /* | Линейное деление |
| $a\frac{b}{c}$ | *Ctrl + Shift + +* | Дробь (смешанный номер) |
| $z^w$ | *z ^ w* | Возведение *z* в степень *w* |
| $\sqrt{z}$ | *z * | Вычисление квадратного корня из *z* |
| $n!$ | *n !* | Вычисление факториала |

| Оператор | Клавиша | Назначение оператора |
|---|---|---|
| $B_n$ | *B [ n* | Ввод нижнего индекса *n* |
| $A_{n,m}$ | *A [ n , m* | Ввод двойного нижнего индекса |
| $A^{<n>}$ | *A Ctrl + 6 n* | Ввод верхнего индекса (для векторов) |

Ранжированные (дискретные) переменные

Ранжированная переменная – переменная, которая принимает ряд значений при каждом ее использовании.

Для определения ранжированной переменной общего вида используется выражение:

Имя_переменной := начальное_значение, начальное_значение + шаг .. конечное_значение.

Если шаг равен 1, тогда ранжированную переменную можно задавать следующим образом:

Имя_переменной := начальное_значение.. конечное_значение.

Любое выражение с ранжированными переменными после знака равенства (=) создает таблицу вывода.

Определение функций

Функция – выражение, согласно которому проводятся некоторые вычисления с его аргументами, и определяется его числовое значение.

Функции в пакете MathCAD могут быть встроенные и определенные пользователем.

В MathCAD имеется множество встроенных функций. Для их ввода используется команда меню Вставка → Функция или кнопка на панели инструментов . В диалоговом окне нужно выбрать Категорию и соответствующую функцию.

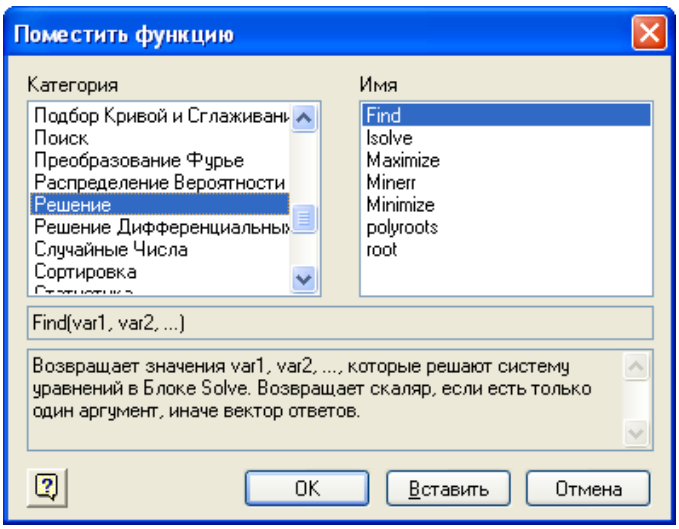



Рисунок 1.3 – Функции

*Функция пользователя* вначале должна быть определена, а затем к ней может быть произведено обращение. Функция пользователя определяется следующим образом:

Имя_функции(Переменная1, Переменная2, …) := Выражение

Задается имя функции, в скобках указывается список аргументов функции - это перечень используемых в выражении переменных, разделяемых запятыми. Затем записывается знак присваивания, справа от которого записывается выражение. Выражение - это любое арифметическое выражение, содержащее доступные системе операторы и функции с операндами и аргументами, указанными в списке аргументов.

Примеры задания функций одной и двух переменных:

f(x):= 10 - exp(x)

mult(x, y) := x*y

Обращение к функции осуществляется по ее имени с подстановкой на место аргументов констант, переменных, определенных до обращения к функции, и выражений.

Например:

f(3), sin(1), mult(2,3).

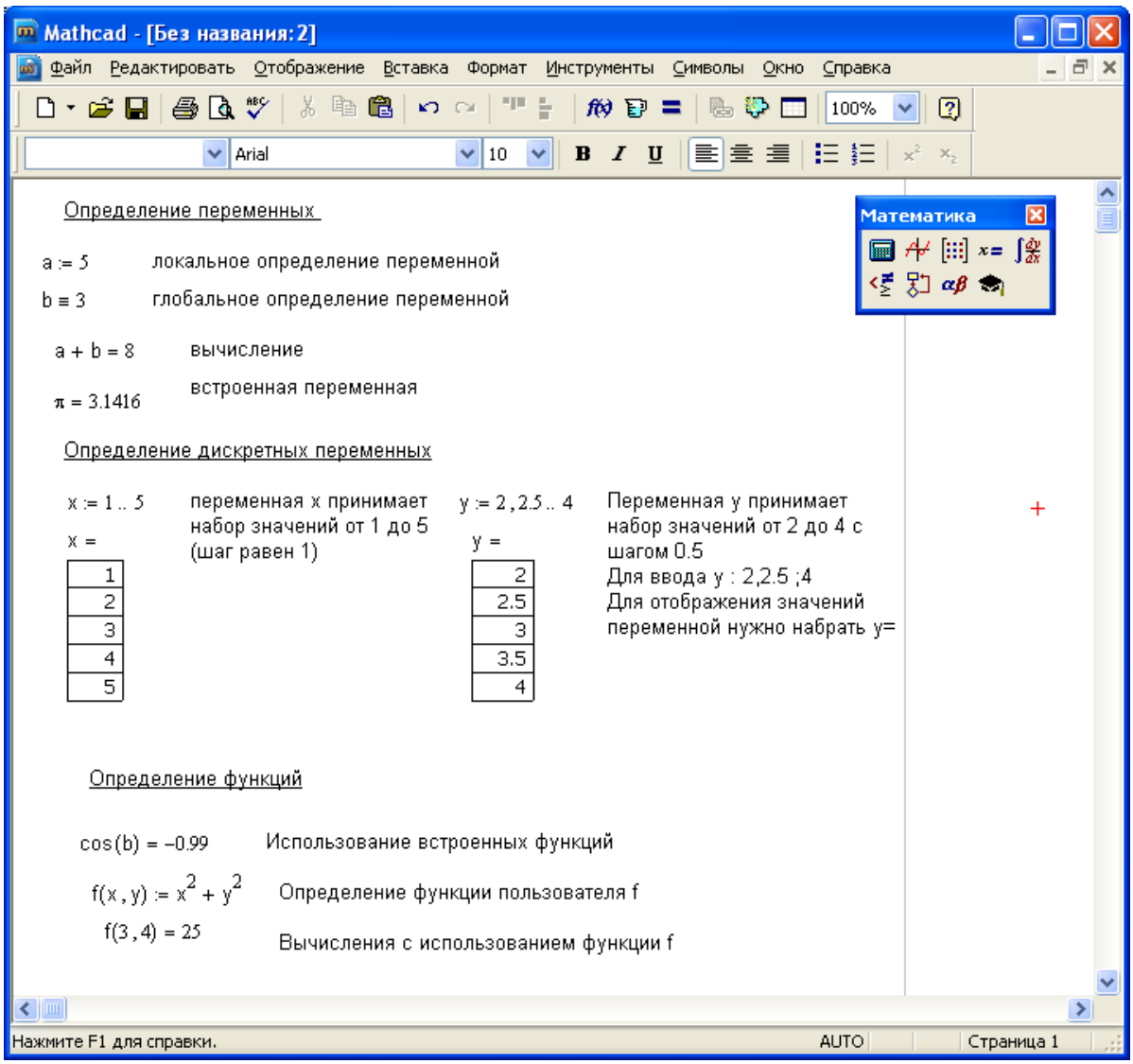



Рисунок 1.4 – Определение переменных и функций

Форматирование результатов

Способ, которым MathCAD выводит числа, называется форматом результата. Формат результата может быть установлен для всего документа (глобальный формат) или для отдельного результата (локальный формат).

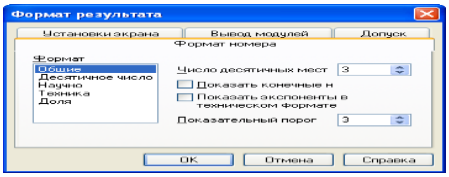



Рисунок 1.5 – Формат номера

Глобальный формат устанавливается командой меню Формат→Результат. В диалоговом окне, появляющемся после выбора этой команды, устанавливается выводимая точность числа, диапазон показателя степени (если вывод чисел нужен в форме с плавающей запятой) и точность нуля. После внесения требуемых изменений нужно нажать кнопку ОК.

Для установки формата отдельного числа нужно: щелкнуть мышью на выражении, результат которого нужно переформатировать; вызвать команду форматирования и проделать вышеописанные действия.

Построение графиков

Для построения графика используется команда меню Вставка→Графики.

Для создания декартового графика:

Установить визир в пустом месте рабочего документа;

Выбрать команду Вставка ⇒ График ⇒ X-У график, или нажать комбинацию клавиш Shift + @, или щелкнуть кнопку панели Графики. Появится шаблон декартового графика;

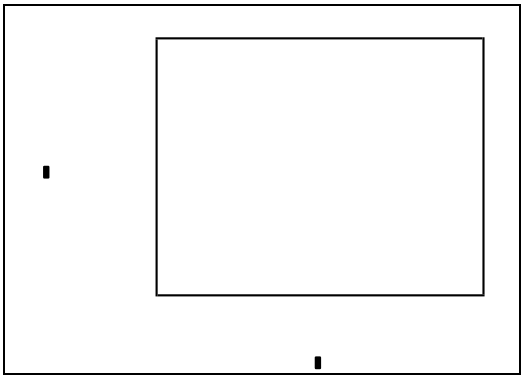


Рисунок 1.6 – Построение

Введите в средней метке под осью X первую независимую переменную, через запятую – вторую и так до 10, например: x1, x2, …;

Введите в средней метке слева от вертикальной оси Y первую независимую переменную, через запятую – вторую и т. д., например: y1(x1), y2(x2), …, или соответствующие выражения;

Щелкните за пределами области графика, чтобы начать его построение.

Можно построить несколько зависимостей на одном графике. Для этого нужно ввести соответствующие функции у вертикальной оси (оси ординат). Чтобы разделить описания функций, вводить их нужно через запятую.

Пример. Фрагмент рабочего документа MathCAD

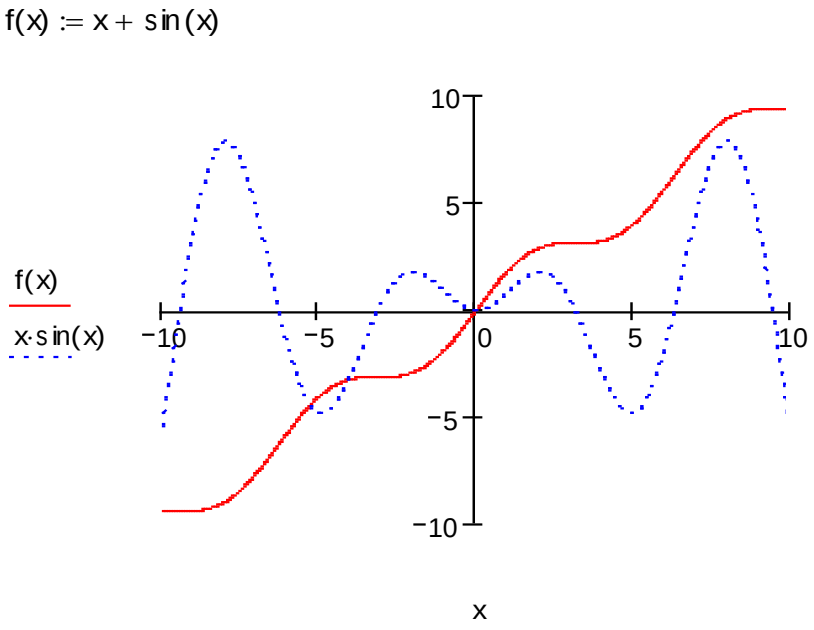



Рисунок 1.7 – Пример построения

ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 1

Задание № 1

Вычислить значение арифметического выражения:

| Вариант | Выражение | Вариант | Выражение |
|---|---|---|---|
| 1 | $1\frac{1}{4}+\frac{1}{9}$ | 2 | $1\frac{1}{7}+2\frac{1}{5}$ |
| 3 | $3\frac{3}{4}-\frac{4}{5}$ | 4 | $\frac{5}{7}\div\frac{4}{21}$ |
| 5 | $\frac{1}{3}\div\frac{5}{12}$ | 6 | $\frac{5}{6}\cdot 2.4$ |
| 7 | $\frac{4}{5}-2.5$ | 8 | $3\frac{1}{11}+\frac{1}{3}$ |
| 9 | $\frac{1}{5}+2\frac{1}{9}$ | 10 | $5\frac{2}{3}\cdot\frac{9}{17}$ |
| 11 | $8\frac{1}{2}\cdot\frac{7}{14}$ | 12 | $\frac{1}{5}+4\frac{1}{2}$ |
| 13 | $\frac{1}{35}\div\frac{4}{5}$ | 14 | $\frac{5}{9}\cdot 1.8$ |
| 15 | $\frac{2}{9}\cdot 1.8$ | 16 | $\frac{2}{3}\div\frac{8}{9}$ |

Задание № 2

Вычислить значение арифметического выражения:

| Вариант | Выражение | Вариант | Выражение |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | $\dfrac{\left(13.75+9\frac{1}{6}\right)\cdot 1.2}{\left(10.3-8\frac{1}{2}\right)\cdot\frac{5}{9}}+\dfrac{\left(6.8-3\frac{3}{5}\right)\cdot 5\frac{5}{6}}{\left(3\frac{2}{3}-3\frac{1}{6}\right)\cdot 56}-27\frac{1}{6}$ | 2 | $\dfrac{\left(\frac{1}{6}+0.1+\frac{1}{15}\right)\div\left(\frac{1}{6}+0.1-\frac{1}{15}\right)\cdot 2.52}{\left(0.5-\frac{1}{3}+0.25-\frac{1}{5}\right)\div\left(0.25-\frac{1}{6}\right)\cdot\frac{7}{13}}$ |
| 3 | $\left(\dfrac{3\frac{1}{3}+2.5}{2.5-\frac{1}{3}}\cdot\dfrac{4.6-2\frac{1}{3}}{4.6+2\frac{1}{3}}\cdot 5.2\right)\div\left(\dfrac{0.05}{\frac{1}{7}-0.125}+5.7\right)$ | 4 | $\dfrac{0.4+8\cdot\left(5-0.8\cdot\frac{5}{8}\right)-5\div 2\frac{1}{2}}{\left(1\frac{7}{8}\cdot 8-\left(8.9-2.6\div\frac{2}{3}\right)\right)\cdot 34\frac{2}{5}}\cdot 90$ |
| 5 | $\dfrac{\left(\frac{3}{5}+0.425-0.005\right)\div 0.1}{30.5+\frac{1}{6}+3\frac{1}{3}}+\dfrac{6\frac{3}{4}+5\frac{1}{2}}{26\div 3\frac{5}{7}}-0.05$ | 6 | $\dfrac{3\frac{1}{3}\cdot 1.9+19.5\div 4\frac{1}{2}}{\frac{62}{75}-0.16}\div\dfrac{3.5+4\frac{2}{3}+2\frac{2}{15}}{0.5\cdot\left(1\frac{1}{20}+4.1\right)}$ |
| 7 | $\dfrac{\left(1\frac{1}{5}\div\left(\frac{17}{40}+0.6-0.005\right)\right)\cdot 1.7}{\frac{5}{6}+1\frac{1}{3}-1\frac{23}{30}}+\dfrac{4.75+7\frac{1}{2}}{33\div 4\frac{5}{7}}\div 0.25$ | 8 | $\dfrac{\left(4.5\cdot 1\frac{2}{3}-6.75\right)\cdot\frac{2}{3}}{\left(3\frac{1}{3}\cdot 0.3+5\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{8}\right)\div 2\frac{2}{3}}+\dfrac{1\frac{4}{11}\cdot 0.22\div 0.3-0.96}{\left(0.2-\frac{3}{40}\right)\cdot 1.6}$ |
| 9 | $\dfrac{\left(1.88+2\frac{3}{25}\right)\cdot\frac{3}{16}}{0.625-\frac{13}{18}\div\frac{26}{9}}+\dfrac{\left(\frac{0.216}{0.15}+0.56\right)\div 0.5}{\left(7.7\div 24\frac{3}{4}+\frac{2}{15}\right)\cdot 4.5}$ | 10 | $\dfrac{0.128\div 3.2+0.86}{\frac{5}{6}\cdot 1.2+0.8}\cdot\dfrac{\left(1\frac{32}{63}-\frac{13}{21}\right)\cdot 3.6}{0.505\cdot\frac{2}{5}-0.002}$ |
| 11 | $\dfrac{0.125\div 0.25+1\frac{9}{16}\div 2.5}{(10-22\div 2.3)\cdot 0.46+1.6}+\left(\dfrac{17}{20}+1.9\right)\cdot 0.5$ | 12 | $\dfrac{(3.4-1.275)\cdot\frac{16}{17}}{\frac{5}{18}\cdot\left(1\frac{7}{85}+6\frac{2}{17}\right)}+0.5\cdot\left(2+\dfrac{12.5}{5.75+\frac{1}{2}}\right)$ |
| 13 | $\dfrac{\left(0.3275-\left(2\frac{15}{88}+\frac{4}{33}\right)\div 12\frac{2}{9}\right)\div 0.07}{(13-0.416)\div 6.05+1.92}$ | 14 | $\dfrac{3.75\div 1\frac{1}{2}+\left(1.5\div 3\frac{3}{4}\right)\cdot 2\frac{1}{2}+\left(1\frac{1}{7}-\frac{23}{49}\right)\div\frac{22}{147}}{2\div 3\frac{1}{5}+\left(3\frac{1}{4}\div 13\right)\div\frac{2}{3}-\left(2\frac{5}{18}-\frac{17}{36}\right)\cdot\frac{18}{65}}$ |
| 15 | $\dfrac{\left(\left(4.625-\frac{13}{18}\cdot\frac{9}{26}\right)\div\frac{9}{4}+2.5\div 1.25\div 6.75\right)\div 1\frac{53}{68}}{\left(\frac{1}{2}-0.375\right)\div 0.125+\left(\frac{5}{6}-\frac{7}{12}\right)\div(0.358-1.4796\div 13.7)}$ | 16 | $\dfrac{\left(\left(3\frac{7}{12}-2\frac{11}{18}+2\frac{1}{24}\right)\cdot 1\frac{5}{31}-\frac{3}{52}\cdot\left(3\frac{1}{2}+\frac{5}{6}\right)\right)\cdot 1\frac{7}{13}}{\frac{19}{84}\div\left(5\frac{13}{42}-2\frac{13}{28}+\frac{5}{24}\right)+1\frac{2}{27}-\frac{1}{3}\cdot\frac{4}{9}}$ |

Задание № 3

Вычислить значение арифметического выражения. Результат выведите с 6 знаками после запятой.

| Вариант | Значения переменных | Выражение |
|---|---|---|
| 1 | $x = 3.981$<br>$y = 1.625$<br>$c = 0.512$ | $h = \frac{\sqrt{c + x^2 \cdot (\cos^5(x) - c)} + \sqrt[5]{\sin x + \ln y}}{c + y}$ |
| 2 | $x = -6.251$<br>$a = 0.827$<br>$z = 25.001$ | $b = \frac{x^3 + z}{\cos^2 x + 1} + tgx^2 - \sqrt{\sin x - a} + \frac{e^x}{3x^2}$ |
| 3 | $x = 3.251$<br>$y = 3.325$<br>$z = 0.466$ | $h = \frac{\sin z + \cos 2x}{2x^5 + tgx} + \sqrt[3]{3x + 2y}$ |
| 4 | $x = 0.622$<br>$y = 3.325$<br>$z = 5.541$ | $\varphi = \frac{(\cos x - \sin y)^3}{\sqrt{tg(z)}} + ln^2(x \cdot y \cdot z)$ |
| 5 | $x = 17.421$<br>$b = 10.365$<br>$z = 0.828$ | $k = \frac{1 + \sin^3 x}{z^2} + \cos^2 x + \frac{ln^2 x + b}{x^4}$ |

| | | |
|---|---|---|
| 6 | $x$ = 2.444<br>$y$ = 0.869<br>$z$ = -0.166 | $g = \left\lvert x^2 - \frac{1}{e^a + 3} \right\rvert - \frac{1 + sin^3 x}{a^2}$ |
| 7 | $x$ = 0.335<br>$y$ = 0.025<br>$z$ = 32.005 | $t = y^{x+1} + \sqrt{\lvert x \rvert + e^y} - \frac{z^{3x} - \sin^2(y)}{y + z^2 / (e^x)}$ |
| 8 | $x$ = 3.258<br>$r$ = 4.005<br>$z$ = -0.666 | $p = \frac{e^x - 2}{z + 3} + \sqrt{\sin^2 x^5} - \frac{r^3 + 1}{\cos^2(r - 2) + 1}$ |
| 9 | $x$ = 0.100<br>$y$ = -8.750<br>$z$ = 0.765 | $y = \left( (1 + y) \cdot \sqrt{sin^2(z)} - \frac{\lvert y - x \rvert}{5} \right)^3$ |
| 10 | $x$ = 1.542<br>a = 3.261<br>$z$ = 8.005 | $r = \frac{x^2}{e^a} + \frac{1}{3} \cdot \sin^2 z - \ln \sqrt{2x}$ |
| 11 | a5 = 1.426<br>a = -1.220<br>p = 3.500 | $w = p^{0,8} + \frac{a}{a - p} - sin^2 \frac{a^5}{a^5 - 1}$ |
| 12 | $x$ = -4.500<br>$y$ = 0.750<br>$z$ = 0.845 | $z = \sqrt{\left\lvert \frac{-3 \cdot tg\, y \cdot ln(x^4 + z)}{e^{-x} + 1} \right\rvert}$ |
| 13 | $a$ = 3.741<br>$x$ = 0.825<br>$z$ = 5.160 | $v = tg \frac{\sqrt[3]{a}}{5 + a^3} + \frac{sin\, z - tg2x}{e^x}$ |

| | | |
|---|---|---|
| 14 | $x$ = 0.400<br>a = 2.875<br>$f$ = -0.475 | $d = \frac{sin^2 x + 1}{x^4} + cos^3 x + e^{a-1} - \frac{\sqrt{sin\, f^2 + f}}{cos^2 a}$ |
| 15 | t = 0.750<br>$a$ = 0.845<br>$m$ = 2.5 | $f = \frac{e^{ma+t}}{\sqrt[5]{\frac{ma}{t} + ma^2}} + \frac{(am) - e^t}{\sqrt{2} + a^2 - \lvert m^3 - lnt \rvert}$ |
| 16 | $x$ = -15.24<br>$a$ = 5.642<br>$b$ = 20.001 | $u = (1 + x^2) \cdot x + \frac{e^x}{2x^2 + 5} - \frac{a}{b \cdot cos\, x^3}$ |

Задание № 4

Определить ранжированные переменные x, y, и z, показать их значения в таблицах вывода.

Определить по заданному выражению функцию пользователя, вычислить значения функции для переменных x, y, и z и показать их в таблице вывода.

| Вариант | Ранжированная переменная | Выражение |
|---|---|---|
| 1 | x = 3, 3.9..5<br>y = 5, 4.6..1<br>z = 5..10 | $2x^3 - 9x^2 + 1$ |
| 2 | x = 4,4.9..6<br>y = 3, 1.4..-2<br>z = 6..11 | $5x^3 - x^2 + 3$ |
| 3 | x = 5, 5.9..7<br>y = -7, -8.6..-13<br>z = 7..12 | $x^2 - 10x + 2$ |

| | | |
|---|---|---|
| 4 | x = 6, 6.9..8<br>y = 8, 7.4..4<br>z = -8..-4 | $x^2 - 4\,sin(x)$ |
| 5 | x = 7, 7.9..9<br>y = 8,7.3..5<br>z = 9..15 | $cos\,2x - 0.4x^3 + 1$ |
| 6 | x = 8, 8.9..10<br>y = 9,7.8..5<br>z = 10..15 | $(x+1)^3 + x - 2$ |
| 7 | x = 3, 3.5..6<br>y = 6, 5.3..2<br>z = 6..10 | $ln\left(\frac{1}{x}\right) - 4$ |
| 8 | x = 5, 5.6..8<br>y = 4, 2.3..0<br>z = 8..13 | $2 \cdot x - sin\,x$ |
| 9 | x = 3,3.5..8<br>y = 9, 7.5..-4<br>z = -9..4 | $\frac{1}{x^2} - 3$ |
| 10 | x = 2, 2.5..7<br>y = 8, 6.5..1<br>z = 6..12 | $cos\left(-\frac{x}{100}\right) \cdot sin\left(\frac{x}{10}\right)$ |
| 11 | x = 8, 8.3..10<br>y = 10,7.5..3<br>z = 1..5 | $sin\left(\frac{2}{x+25}\right) - 4$ |
| 12 | x = 7,7.5..9.5 | $x^2 - 3x + 10$ |

| | | |
|---|---|---|
| | y = 9,8.8..6<br>z = 22..27 | |
| 13 | x = 8, 8.9..10<br>y = 2,1.8..-0.2<br>z = -1..5 | $x^3 + x^2 - 12$ |
| 14 | x = 2, 2.5..6<br>y = 10,6.8..1<br>z = -3..5 | $x^2 - 2cos(x)$ |
| 15 | x = 8, 8.5..10<br>y = 6 ,4.3..1<br>z = 10..25 | $(x - 0.5)^3 + 1.5x$ |
| 16 | x = 1,1.5..5<br>y = 8,6.8..1<br>z = -2..4 | $x^2 - 2sin(x)$ |

Задание № 5

Определить функцию f(x), вычислить ее значение при x = 2,9 и построить таблицу значений функции для x [2; 12] с шагом 1. Построить график функции.

| Вариант | Функция | Вариант | Функция |
|---|---|---|---|
| 1 | $\frac{8(x-1)}{(x+2)^2}$ | 2 | $(2x+4)e^{2(x+2)}$ |
| 3 | $\frac{5x}{x^2+3}$ | 4 | $2 - \frac{3x}{x^2+3}$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 | $\frac{x^3-27x+54}{x^3}$ | 6 | $-(x+4)e^{-x-3}$ |
| 7 | $-\frac{5x}{x^2+2}$ | 8 | $\left(2+\frac{1}{x}\right)^2$ |
| 9 | $\left(\frac{x+2}{x-2}\right)^2$ | 10 | $\frac{2x^2+1}{x^2+3}$ |
| 11 | $(x+1)e^{x+2}$ | 12 | $(2x-1)e^{2(x-1)}$ |
| 13 | $\frac{x^2-6x+9}{(x-1)^2}$ | 14 | $\frac{5x^2}{x^2+3}$ |
| 15 | $(x+4)e^{-x-3}$ | 16 | $\frac{3x-2}{(x+1)^3}$ |

Задание № 6

На одном графике постройте графики функций:

sin x

sin 2x

2 sin x

sin $x^2$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Назовите основные элементы интерфейса программы MathCAD.

С помощью какого оператора можно вычислить выражение?

Назовите правила записи имен переменных.

Как вставить текстовую область в документ MathCAD?

Чем отличается глобальное и локальное определение переменных? С помощью каких операторов определяются?

Как изменить формат результата для всего документа?

Как изменить формат результата для отдельного выражения?

Какие системные (предопределенные) переменные Вам известны? Как узнать их значение? Как изменить их значение?

Какие виды функций в MathCAD Вам известны?

Как вставить встроенную функцию в документ MathCAD?

Как создать функцию пользователя?

Как определить дискретные переменные с произвольным шагом? Какой шаг по умолчанию?

Как вывести значения дискретной переменной?

Как построить график?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В MathCAD встроено несколько различных типов графиков, которые можно разбить на две большие группы.

*Двумерные графики*:

X-Y (декартовый) график (X-Y Plot);

полярный график (Polar Plot).

*Трехмерные графики*:

график трехмерной поверхности (Surface Plot);

график линий уровня (Contour Plot);

трехмерная гистограмма (3D Bar Plot);

трехмерное множество точек (3D Scatter Plot);

векторное поле (Vector Field Plot).

Деление графиков на типы несколько условно, т. к., управляя установками многочисленных параметров, можно создавать комбинации типов графиков, а также новые типы (например, двумерная гистограмма распределения является разновидностью простого X-Y графика).

Для построения графиков используются шаблоны. Их перечень содержится в команде меню Вставка→Графики. Большинство параметров графического процессора, необходимых для построения графиков, по умолчанию задается автоматически. Поэтому для начального построения того или иного вида достаточно задать тип графика. В подменю Graph содержится список из семи основных типов графиков.

Таблица 2.2 – Типы графиков

| | |
|---|---|
| X-Y Plot | График в декартовой системе координат |
| Polar Plot | График в полярных координатах |

| | |
|---|---|
| Surfase Plot | Трехмерный график |
| Contour Plot | Контурный график трехмерной поверхности |
| 3D Scatter Plot | График в виде точек (фигур) в трехмерном ространстве |
| 3D Bar Chart | График для изображения в виде совокупности олбиков в трехмерном пространстве (гистограмма) |
| Vector Field Plot | График векторного поля на плоскости |

MathCAD представляет пользователю разнообразные средства форматирования графика - изменение толщины и цвета линий, вида осей координат, координатные сетки, текстовые комментарии и др. Для того чтобы изменить вид изображения, нужно щелкнуть дважды по полю графика и установить требуемые параметры в окнах настройки.

Графики любого вида, как любые объекты документа, можно выделять, заносить в буфер обмена, вызывать их оттуда и переносить в любое новое место документа. Их можно и просто перетаскивать с места на место курсором мыши, а также растягивать по горизонтали, по вертикали и по диагонали, цепляясь за специальные маркеры выделенных графиков курсором мыши.

*Порядок действий при построении* всех графиков одинаков. После выбора шаблона построения графика в рабочем документе открывается поле построения графика с помеченными для ввода позициями, которые нужно заполнить для определения графика.

Когда график определен (заполнены все помеченные позиции), то для построения графика при автоматическом режиме вычислений достаточно щелкнуть мышью вне поля графика.

Заполнение шаблона для разных типов графиков имеет свои особенности.

Можно начертить *несколько кривых на одном* и том же чертеже. Чтобы представить графически несколько выражений по оси ординат относительно одного выражения по оси абсцисс, введите первое выражение по оси ординат, сопровождаемое запятой. Непосредственно под первым выражением появится пустое поле. Введите туда второе выражение, сопровождаемое другой запятой, чтобы получить пустое поле, и т. д.

Чтобы построить несколько независимых кривых на одном чертеже, введите два или более выражения, отделяемых запятыми по оси абсцисс, и то же самое выражение по оси ординат. MathCAD согласует выражения попарно - первое выражение по оси абсцисс с первым выражением по оси ординат, второе со вторым и т. д. Затем рисуется график каждой пары.

Можно построить до 16 функций по оси ординат в зависимости от одного аргумента по оси абсцисс. Однако если для каждой кривой используется свой аргумент, то можно отобразить только до 10 графиков.

Точно так же можно построить несколько графиков на одном и том же чертеже в полярных координатах, используя эту же технологию заполнения шаблона графика.

Форматирование графиков

Чтобы изменить *формат графика*, необходимо дважды щелкнуть мышью в области графика.

Если строим график в декартовой системе координат, то появится следующее диалоговое окно для форматирования графика (разные типы графиков имеют разный вид диалоговых окон, но аналогичную технологию форматирования).

Форматирование оси графика можно также произвести, выполнив на ней двойной щелчок.

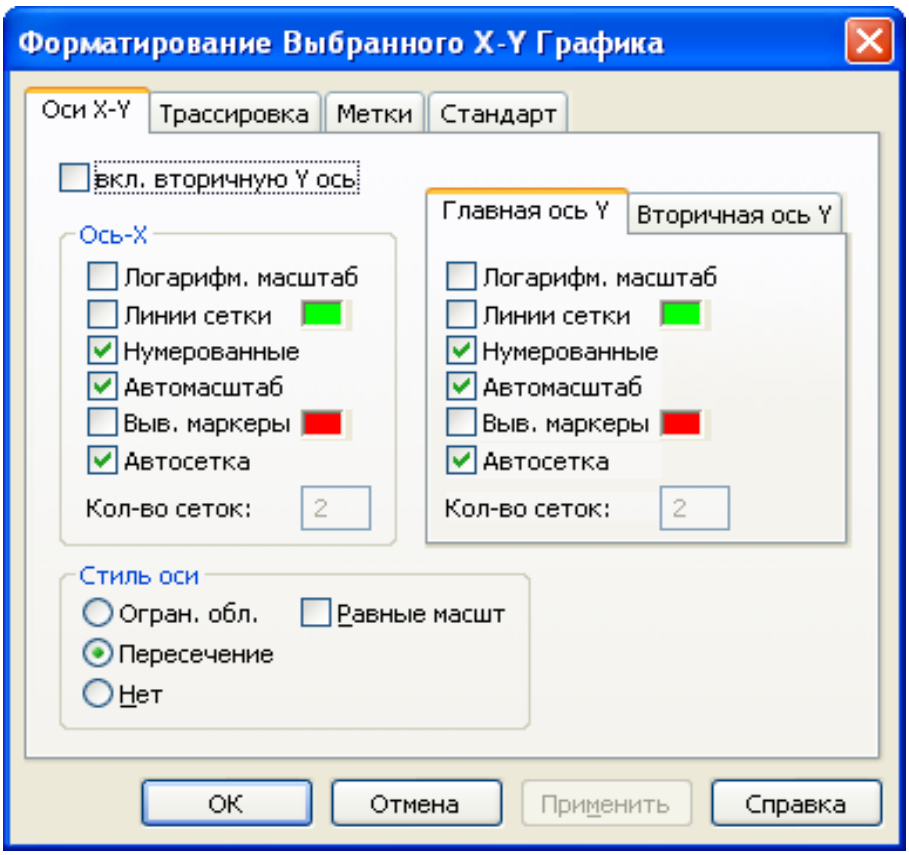



Рисунок 2.1 – Форматирование графика

В MathCAD можно делать следующие надписи на чертеже:

заголовок выше или ниже графика;

названия осей, чтобы описать, что отложено на каждой оси;

имена кривых, идентифицирующих отдельные графики;

переменные - выражения, определяющие координаты.

Можно использовать эти надписи все вместе или в любой комбинации.

Для того чтобы *добавить заголовок* к графику в диалоговом окне для форматирования графика, следует щелкнуть по закладке Labels (Метки) и напечатать заголовок графика в поле Title (Название). Пометить место размещения заголовка: кнопка Above (Вверху) или Below (Внизу) и удостовериться, что флажок Show Title (Выводить) отмечен.

Чтобы надписать одну или обе оси графика, необходимо указать название осей в поле Метки осей.

Можно построить до 16 разных графиков. Каждому графику соответствует строка в прокручивающемся списке, который откроется, если в диалоговом окне для форматирования графика щелкнуть по вкладке Traces (Трассировка). На этой вкладке можно изменить параметры: тип, цвет, толщину линии.

По мере появления новых графиков MathCAD ставит в соответствие каждому одну из этих строк.

Построение графика функции y = f( x)

Пример 1

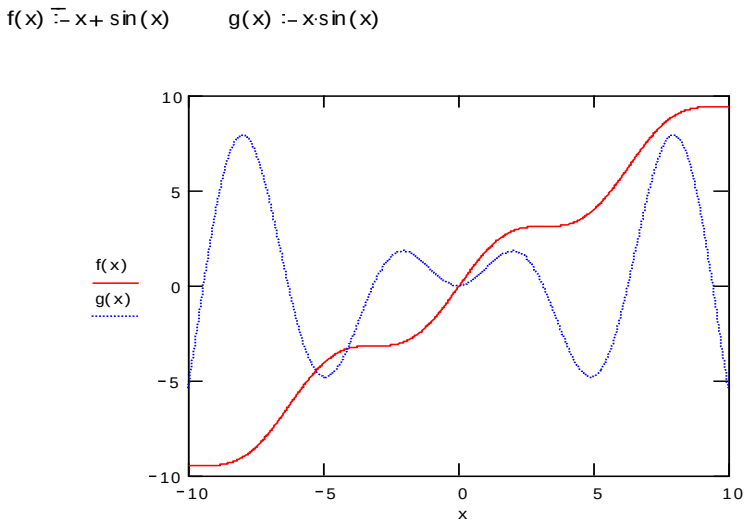



Рисунок 2.2 – Пример построения y = f( x)

Построение кривой, заданной параметрически

Построение кривой, заданной параметрически, осуществляется аналогично. Отличие состоит в том, что в позиции аргумента и функции вводятся выражения или имена соответствующих функций.

Пример 2

$$x(t) := \frac{t^2}{1+t^2} \qquad y(t) := \frac{t\cdot\left(1-t^2\right)}{1+t^2} \qquad t := 0, 0.1 .. 10$$

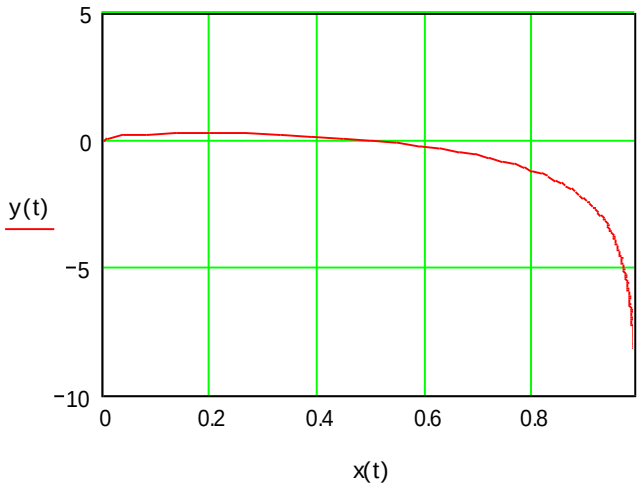



Рисунок 2.3 – Пример построения

Графики в полярной системе координат

В полярной системе координат каждая точка задается углом φ и модулем радиуса-вектора r(φ). График функции обычно строится в виде линии, которую описывает конец радиуса-вектора при изменении угла φ в определенных пределах, чаще всего от 0 до 2π. Опция Полярные координаты (Polar Plot) выводит шаблон таких графиков в форме окружности с шаблонами данных.

Перед построением таких графиков надо задать значения переменной φ и функцию r(φ).

Пример 3

$a := 10 \qquad m := 4$

$\phi := -\pi, -\pi + \frac{\pi}{120} .. \pi \qquad r(\phi) := a \cdot \cos(m \cdot \phi)$

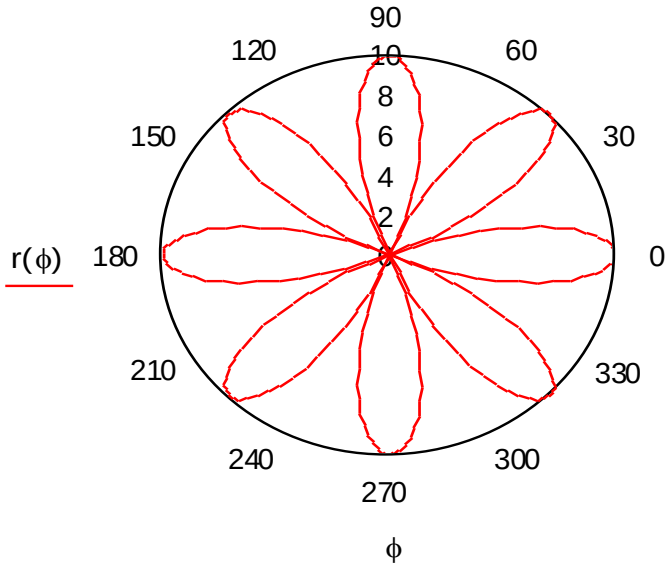



Рисунок 2.4 – Пример построения r(φ)

Графики поверхностей

Трехмерные, или 3D-графики, отображают функции двух переменных вида Z(X, Y).

При построении трехмерных графиков в ранних версиях MathCAD поверхность нужно было определить математически.

Теперь применяют функцию MathCAD *CreateMesh*.

Функция CreateMesh(F (или G, или f1, f2, f3), x0, x1, y0, y1, xgrid, ygrid, fmap) - создает сетку на поверхности, определенной функцией F.

x0, x1, y0, y1 – диапазон изменения переменных; xgrid, ygrid – размеры сетки переменных; fmap – функция отображения.

Функция CreateMesh по умолчанию создает сетку на поверхности с диапазоном изменения переменных от –5 до 5 и с сеткой 20×20 точек.

Пример 4. (Построение графиков поверхности двумя способами)

1 способ

$f(x,y) := \sin\left(x^2 + y^2\right)$

$i := 0..20 \qquad j := 0..20$

$x_i := -1.5 + i \cdot 0.15$

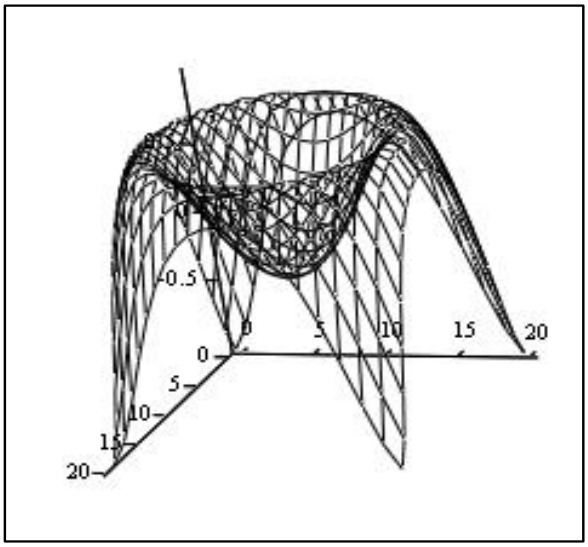
$y_j := -1.5 + j \cdot 0.15$

$MT_{i,j} := f\left(x_i, y_j\right)$

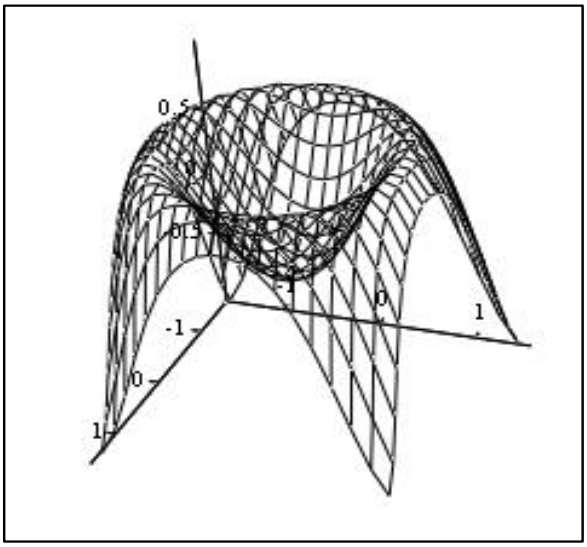
2 способ

$f(x,y) := \sin\left(x^2 + y^2\right)$

$MM := CreateMesh(f, -1.5, 1.5, -1.5, 1.5, 20, 20)$




MT




MM

Рисунок 2.5 – Два способа построения поверхности

Нередко поверхности и пространственные кривые представляют в виде точек, кружочков или иных фигур. Такой график создается операцией Вставка → График → 3D Точечный, причем поверхность задается параметрически – с помощью трех матриц (X, Y, Z).

Для определения исходных данных для такого вида графиков используется функция *CreateSpace*.

Функция CreateSpace (F, t0, t1, tgrid, fmap) - возвращает вложенный массив трех векторов, представляющих x, y, и z - координаты пространственной кривой, определенной функцией F. t0 и t1 – диапазон изменения переменной, tgrid – размер сетки переменной, fmap – функция отображения.

Еще один вид представления поверхности - *векторное представление*. Оно задается построением коротких стрелочек - векторов. Стрелки обращены острием в сторону нарастания высоты поверхности, а плотность расположения стрелок зависит от скорости этого нарастания.

Для его построения используется шаблон Vector Field Plot (график векторного поля на плоскости). В шаблон необходимо внести имя матрицы M.

Пример 5. Построение точечного графика двумя способами

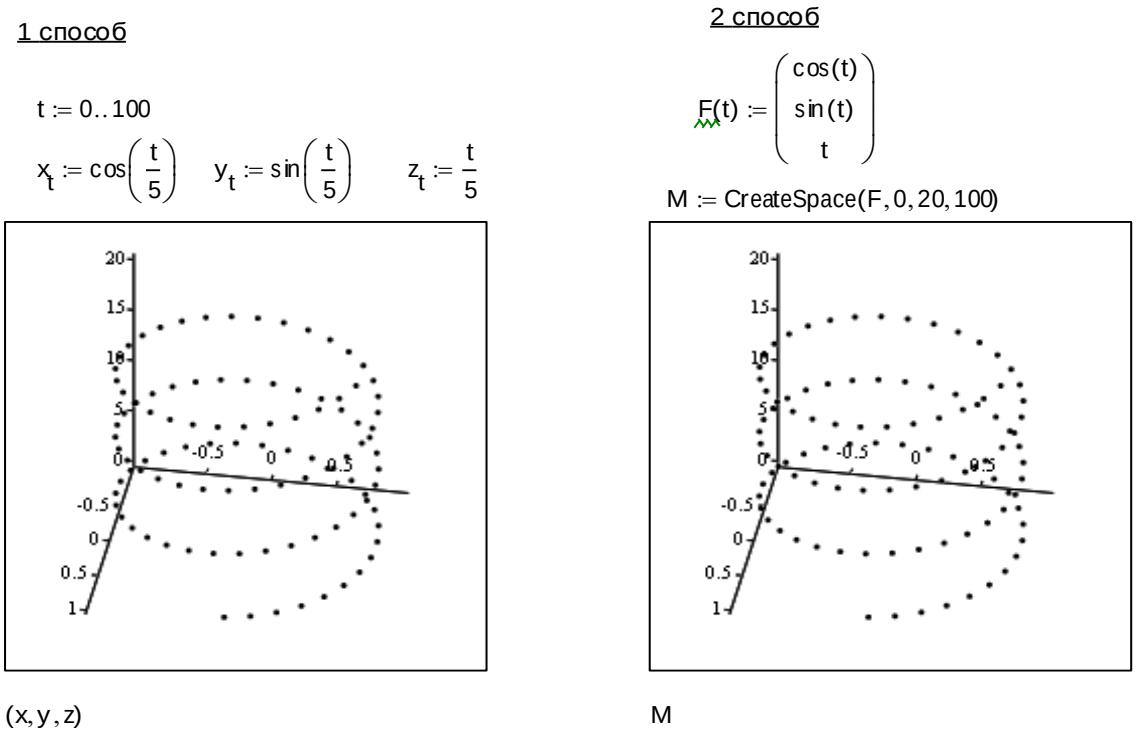



Рисунок 2.6 – Два способа построения точечного графика

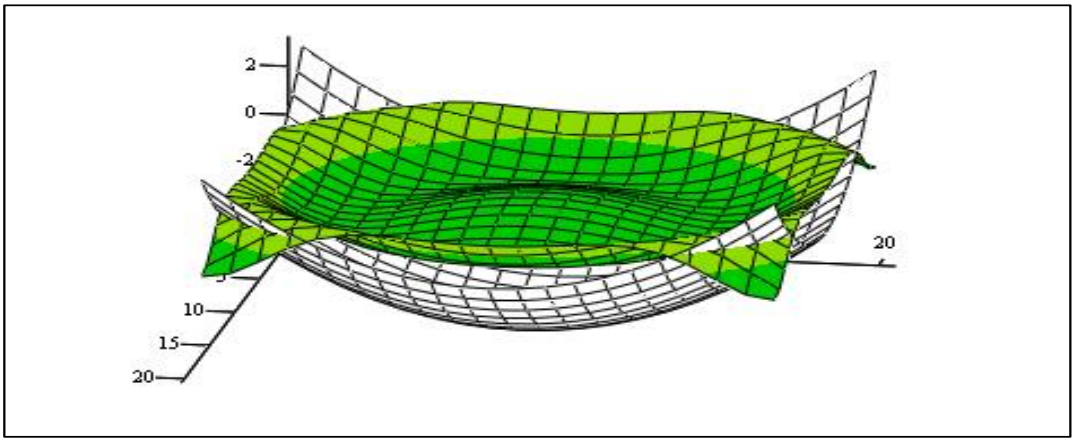
Построение пересекающихся фигур

Особый интерес представляет собой возможность построения на одном графике ряда разных фигур или поверхностей с автоматическим учетом их взаимного пересечения. Для этого надо раздельно задать матрицы соответствующих поверхностей и после вывода шаблона 3D-графика перечислить эти матрицы под ним с использованием в качестве разделителя запятой.

$x := 0..20$ $y := 0..20$

$f1(x,y) := -\sin\left(x^2 + y^2\right)$ $f2(x,y) := x^2 + y^2 - 5$

$M1_{x,y} := f1\left(\frac{x-10}{5}, \frac{y-10}{5}\right)$ $M2_{x,y} := f2\left(\frac{x-10}{5}, \frac{y-10}{5}\right)$




M1 , M2

Рисунок 2.7 – Построение пересекающихся фигур

## ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 2

### Задание № 1

Постройте графики функций.

| Вариант | Функция одной переменной | Полярная система координат | Функция двух переменных |
|---|---|---|---|
| 1 | $y = \frac{3}{x^3} + \frac{2}{x^2} + \frac{1}{x}$ | $x = t^3 - 3\pi$<br>$y = t^3 - 6 \cdot arctg(t)$ | $z = \sin\left(\frac{x}{y}\right)\cos\left(\frac{y}{x}\right)$ |
| 2 | $y = \sqrt{x} - \sqrt[3]{x^2} + \sqrt[4]{x^3}$ | $x = 4\cos^2(t)$<br>$y == 4\sin^2(t)$ | $z = \frac{1}{arctg\left(\frac{y}{x}\right)}$ |
| 3 | $y = \ln(3x) + \frac{\exp(-3x)}{\sqrt{x}}$ | $x = sh(t) - t$<br>$y = ch(t) - 1$ | $z = x^3 y - xy^3$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4 | $y=\frac{x^2-\sqrt{x}}{1-x}$ | $x=t$<br>$y=t+2arctg(t)$ | $z=\exp\left(-\frac{x}{y}\right)$ |
| 5 | $y=\frac{x^2}{x^3+1}$ | $x=2\cdot(3\cos(t)+\cos(3t))$<br>$y=2\cdot(3\sin(t)+\sin(3t))$ | $z=4.25x\cdot\exp(-t)+6t$ |
| 6 | $y=\sin(x)-4\cos(x)$ | $x=t^3+3t+1$<br>$y=t^3-3t+1$ | $z=\frac{x^3+y^3}{x^2+y^2}$ |
| 7 | $y=x^2\cdot tg(x)$ | $x=\frac{3t}{1+t^3}$<br>$y=\frac{3t^2}{1+t^3}$ | $z=\ln\left(x+\sqrt{x^2+y^2}\right)$ |
| 8 | $y=\frac{\sqrt[3]{x}}{\cos(x)}$ | $x=t\cdot\exp(t)$<br>$y=t\cdot\exp(-t)$ | $z=\ln\left(tg\left(\frac{x}{y}\right)\right)$ |
| 9 | $y=\frac{\cos(x)-\sin(x)}{\cos(x)+\sin(x)}$ | $x=3t+1$<br>$y=t^3+2t$ | $z=\ln(x^2+y^2)$ |
| 10 | $y=(1+x^2)\arccos(x)$ | $x=t+\exp(-t)$<br>$y=2t+\exp(-2t)$ | $z=x^{x\cdot y}$ |
| 11 | $y=\sqrt{x^3}arctg(x)$ | $x=\frac{t}{t+3}$<br>$y=\frac{2t^2+3t}{(t+3)^2}$ | $z=(1+\lg(x))^y$ |
| 12 | $y=\sin(x)\cdot\arcsin(x)$ | $x=\ln\left(t+\sqrt{t^2}\right)$<br>$y=t\sqrt{t^2+1}$ | $z=\frac{x+y}{x-y}$ |
| 13 | $y=\frac{x^2-1}{\lg(x)}$ | $x=6\cos(t)-3\cos(2t)$<br>$y=6\sin(t)-3\sin(2t)$ | $z=\frac{1}{2}\ln(x^2+y^2)$ |
| 14 | $y=x\cdot\cos(x)\cdot\ln(x)$ | $x=t\sqrt{t^2+1}$<br>$y=\ln\left(\frac{1+\sqrt{1+t^2}}{t}\right)$ | $z=\frac{x^2+y^2}{x^2-y^2}$ |
| 15 | $y=\ln\left(\sqrt{\exp(x)}\right)$ | $x=2\cos(t)$<br>$y=3\sin(t)$ | $z=x^2y^4-x^3y^3+x^4y^2$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 16 | $y = \exp(x)\cdot(tg(x)-x)$ | $y = a(1+\cos(\varphi))$ | $z = 2\sqrt{\frac{1-\sqrt{xy}}{1+\sqrt{xy}}}$ |

Задание № 2

Отобразить графически пересечение поверхностей $f1(x,y) := \frac{(x+y)^2}{10}$ и $f2(x,y) := 5\cos\left(\frac{x-y}{3}\right)$. Матрицы для построения поверхностей задать с помощью функции *CreateMesh.*

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Как построить график?

Как построить несколько графиков в одной системе координат?

Как построить декартовый график?

Как отформатировать построенный график?

Как построить график кривой, заданной параметрически?

Как построить график в полярной системе координат?

Как построить график поверхности?

Для чего используются функции *CreateMesh, CreateSpace?*

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ВЕКТОРЫ И МАТРИЦЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Задачи линейной алгебры, решаемые в MathCAD, можно условно разделить на два класса. Первый - это простейшие матричные операции, которые сводятся к определенным арифметическим действиям над элементами матрицы. Они реализованы в виде операторов и нескольких специфических функций, предназначенных для создания, объединения, сортировки, получения основных свойств матриц и т. д. Второй класс - это более сложные действия, которые реализуют алгоритмы вычислительной линейной алгебры, такие как вычисление определителей и обращение матриц, вычисление собственных векторов и собственных значений, решение систем линейных алгебраических уравнений и различные матричные разложения.

Простейшие операции матричной алгебры реализованы в MathCAD в виде операторов, причем их запись максимально приближена к математическому значению.

Создание матриц

Имеется два способа создать матрицу.

*1-й способ.* Использование команды создания массивов:

Воспользоваться командой Вставка → Матрица;

нажатие клавиш Ctrl+M;

выбор пиктограммы с изображением шаблона матрицы на панели инструментов Матрицы.

В диалоговом окне указать размерность матрицы, т. е. количество ее строк m (Rows) и столбцов n (Columns).

Для векторов один из этих параметров должен быть равен 1. При m = 1 получим вектор-столбец, а при n = 1- вектор-строку.

Далее на экране появится шаблон $\begin{pmatrix} \blacksquare & \blacksquare \\ \blacksquare & \blacksquare \end{pmatrix}$, в который нужно ввести значения элементов массива.

Обращаться к отдельным элементам вектора или матрицы можно используя нижний индекс. Для элемента матрицы указываются два индекса, один - для номера строки, другой - для номера столбца.

Чтобы ввести нижний индекс, нужно нажать клавишу [ после имени вектора или матрицы или выбрать команду на панели Матрицы.

*2-й способ*. Использование ранжированной переменной.

Ранжированная переменная используется для определения индекса (номера) элемента массива.

Например:

1) Создать матрицу B, состоящую из 2 строк и 3 столбцов.

ORIGIN := 1 Çàäàäèì начальный индекс массива равным 1

i := 1..2 Êîëè÷åñòâî строк

j := 1..3 Êîëè÷åñòâî столбцов

$B_{i,j} := i + j$ Элементы матрицы рассчитываются по заданной формуле

$$B = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$

2) Создать вектор S, состоящий из 3 элементов

ORIGIN := 1 Çàäàäèì начальный индекс массива равным 1

i := 1..3 Êîëè÷åñòâî элементов вектора

$S_i := i^2$

$$S = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 9 \end{pmatrix}$$

Команды панели инструментов Матрицы

Таблица 3.1– Команды для Матрицы

| Кно | Назначение |
|---|---|
| | Создание матрицы |
| $X^{-1}$ | Обратная матрица |
| $\lvert\times\rvert$ | Определитель матрицы |
| $M^T$ | Транспонирование матрицы |
| $M^{\langle\rangle}$ | Выделение столбца матрицы |

Операторы для работы с массивами

Обозначения: для векторов - V, для матриц - M и для скалярных величин - z.

Таблица 3.2 – Назначение команд

| Оператор | Ввод | Назначение оператора |
|---|---|---|
| V1+V2 | V1+V2 | Сложение двух векторов V1 и V2 |
| V1-V2 | V1-V2 | Вычитание двух векторов V1 и V2 |
| -M | -M | Смена знака у элементов матрицы |
| V-z | V-z | Вычитание из вектора V скаляра z |
| z*V, V*z | z*V, V*z | Умножение вектора V на скаляр z |

| | | |
|---|---|---|
| z*M, M*z | z*M, M*z | Умножение матрицы M на скаляр z |
| V1*V2 | VI*V2 | Умножение двух векторов V1 и V2 |
| M*V | M*V | Умножение матрицы M на вектор V |
| M1*M2 | M1*M2 | Умножение двух матриц M1 и M2 |
| $\frac{V}{z}$ | V/z | Деление вектора V на скаляр z |
| $\frac{M}{z}$ | M/z | Деление матрицы M на скаляр z |
| $M^n$ | M^n | Возведение матрицы M в степень *n* |

Фрагмент документа MathCAD:

**Äåéñòâèÿ с матрицами**

ORIGIN := 1  Çàäàäèì начальный индекс массива равным 1

$$A := \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 3 & 8 & 9 \end{pmatrix} \qquad A^T = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 3 \\ 2 & 5 & 8 \\ 3 & 6 & 9 \end{pmatrix} \qquad |A| = 12$$

$$2 \cdot A = \begin{pmatrix} 2 & 4 & 6 \\ 8 & 10 & 12 \\ 6 & 16 & 18 \end{pmatrix} \qquad A^{-1} = \begin{pmatrix} -0.25 & 0.5 & -0.25 \\ -1.5 & 0 & 0.5 \\ 1.417 & -0.167 & -0.25 \end{pmatrix} \qquad A^{\langle 1 \rangle} = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix}$$

$$A \cdot A^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Функции для работы с векторами и матрицами.

Некоторые из них (V должен быть вектором, A может быть вектором либо матрицей):

length(V) -возвращает число элементов в векторе v;

last(V) - возвращает индекс последнего элемента;

max(A) - возвращает максимальный по значению элемент;

min(A) - возвращает минимальный по значению элемент.

Матричные функции

Для работы с матрицами также существует ряд встроенных функций:

augment(M1, M2) - объединяет в одну матрицы M1 и M2, имеющие одинаковое число строк;

identity(n) - создает единичную квадратную матрицу размером $n \times n$, (n – размер матрицы(число));

stack(MI, M2) - объединяет две матрицы M1 и M2, имеющие одинаковое число столбцов, сажая M1 над M2;

diag(V) - создает диагональную матрицу, элемент главной диагонали которой - вектор V;

cols(M) - возвращает число столбцов матрицы M;

rows(M) - возвращает число строк матрицы M;

rank(M) -возвращает ранг матрицы M;

tr(M) - возвращает след (сумму диагональных элементов) квадратной матрицы M;

mean(M) - возвращает среднее значение элементов массива M;

median(M) - возвращает медиану элементов массива M;

eigenvals(M) - возвращает вектор, элементами которого являются собственные значения матрицы M (M должна быть квадратной матрицей.);

submatrix(M,ir,jr,ic,jc) - возвращает подмассив, состоящий из всех элементов, которые содержатся в строках с ir по jr и столбцах с ic по jc массива M.

Символьные вычисления

Все матричные и векторные операторы допустимо использовать как в численных, так и в символьных расчетах. Мощь символьных операций заключается в возможности проводить их не только над конкретными числами, но и над переменными.

Фрагмент документа MathCAD:

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & f & g \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u & v & w \\ x & y & z \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} a+u & b+v & c+w \\ d+x & f+y & g+z \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & f & g \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} u & v & w \\ x & y & z \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} a-u & b-v & c-w \\ d-x & f-y & g-z \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & f & g \end{pmatrix} + k \rightarrow \begin{pmatrix} a+k & b+k & c+k \\ d+k & f+k & g+k \end{pmatrix}$$

ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 3

Ввести в документ название лабораторной работы, вариант задания и фамилию студента

Создать квадратные матрицы A, B, D, размером (5,5,4 соответственно) первым способом

Исследовать следующие свойства матриц на примере преобразования заданных массивов:

транспонированная матрица суммы двух матриц равна сумме транспонированных матриц $(A+B)^T=A^T+B^T$;

транспонированная матрица произведения двух матриц равна сумме произведению транспонированных матриц, взятых в обратном порядке: $(A*B)^T=B^T*A^T$;

при транспонировании квадратной матрицы определитель не меняется : $|D|=|D^T|$;

произведение квадратной матрицы на соответствующую ей квадратную дает единичную матрицу (элементы главной диагонали единичной матрицы равны 1, а все остальные – 0) $D*D^{-1}=E$.

Для матриц A, B найти обратные матрицы.

Найти определители матриц A, B.

Для матрицы A увеличить значения элементов в № раз, где № - номер варианта.

Для матрицы B увеличить значения элементов на №.

Создать вектор C вторым способом, количество элементов которого равно 6.

Применить к матрицам A, B, D встроенные матричные функции (всевозможные) из приведенных в пункте “Функции для работы…”

Применить к вектору C встроенные векторные функции.

Применить ко всем матрицам и вектору общие встроенные функции.

Сохранить документ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Как создать матрицу, вектор - строку, вектор - столбец?

Какие операторы есть для работы с матрицами?

Перечислите команды панели инструментов Матрицы.

Как вставить матричные функции?

Как выполнять вычисления, если матрица задана в символьном виде?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Огромное количество задач вычислительной математики связано с решением нелинейных алгебраических уравнений, а также систем таких уравнений. При этом необходимость решения нелинейных уравнений возникает зачастую на промежуточных шагах, при реализации фрагментов более сложных алгоритмов (к примеру, при расчетах дифференциальных уравнений при помощи разностных схем и т. п.).

Численное решение нелинейного уравнения

Алгоритм приближенного решения уравнения f(x)=0 состоит из двух этапов:

нахождения промежутка, содержащего корень уравнения (или начальных приближений для корня);

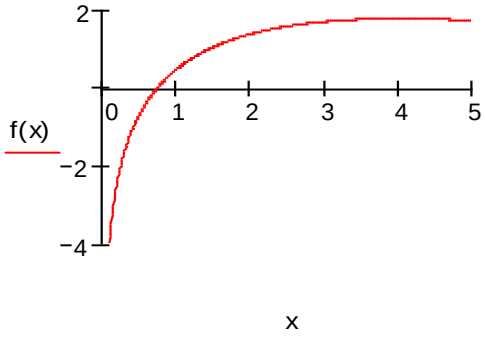
получения приближенного решения с заданной точностью с помощью функции root.

Если после многих итераций MathCAD не находит подходящего приближения, то появится сообщение

(отсутствует сходимость).

Ïðèìåð 1. Решение уравнения с помощью функции ROOT

$f(x) := 2 \cdot \ln(x) - \frac{x}{2} + 1$ Çàäàäì функцию f(x)




Ñòðîèì график и находим начальное приближение

$x := 0.7$

$root(f(x), x) = 0.728$

Эта ошибка может быть вызвана следующими причинами:

уравнение не имеет корней;

корни уравнения расположены далеко от начального приближения;

выражение имеет комплексный корень, но начальное приближение было вещественным.

Чтобы установить причину ошибки, исследуйте график f(x). Он поможет выяснить наличие корней уравнения f(x) = 0 и, если они есть, то определить приблизительно их значения. Чем точнее выбрано начальное приближение корня, тем быстрее будет root сходиться.

Нахождение корней полинома

Для нахождения корней выражения, имеющего вид $v_0+v_1x+\ldots\ v_{n-1}x^{n-1}\ +v_nx^n$, лучше использовать функцию polyroots, нежели root. В отличие от функции root, функция polyroots не требует начального приближения и возвращает сразу все корни, как вещественные, так и комплексные.

Функция Polyroots(v) - возвращает корни полинома степени n. Коэффициенты полинома находятся в векторе v длины n + 1. Возвращает вектор длины n, состоящий из корней полинома.

Ïðèìåð 2. Нахождение корней полинома

$0.75 \cdot x^3 - 8 \cdot x + 5$

Для создания вектора v:

1. Поставьте курсор на переменную x в выражении $0.75 \cdot x^3 - 8 \cdot x + 5$
2. Выполните команду **Символы → Коэффициенты полинома**
3. Выполните команду **Правка → Вырезать**
4. Напечатайте v:= и выполните команду **Правка → Вставить**

$$v := \begin{pmatrix} 5 \\ -8 \\ 0 \\ .75 \end{pmatrix}$$

$$\text{polyroots}(v) = \begin{pmatrix} -3.542 \\ 0.651 \\ 2.892 \end{pmatrix}$$

Решение систем уравнений

Решение систем уравнений матричным методом

Рассмотрим систему n линейных алгебраических уравнений относительно n неизвестных $x_1, x_2, \ldots, x_n$:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = b_2, \\ \ldots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \ldots + a_{nn}x_n = b_n. \end{cases}$$

Система линейных уравнений может быть записана в матричном виде:

$Ax = b$,

где:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & a_{n2} & \ldots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \ldots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \ldots \\ b_n \end{bmatrix}.$$

Если det A ≠ 0 то система  или эквивалентное ей матричное уравнение имеет единственное решение.

Решение систем уравнений с помощью функции Lsolve

Системы линейных уравнений удобно решать с помощью функции lsolve.

Функция lsolve(A, b) - возвращает вектор решения x такой, что Ax = b.

Ïðèìåð 3.  Решение системы уравнений

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 = 30 \\ -x_1 + 2x_2 - 3x_3 + 4x_4 = 10 \\ x_2 - x_3 + x_4 = 3 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 10 \end{cases}$$

Запишем в матричном виде:

$$A := \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ -1 & 2 & -3 & 4 \\ 0 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \qquad b := \begin{pmatrix} 30 \\ 10 \\ 3 \\ 10 \end{pmatrix}$$

$$|A| = -4$$

$$x := A^{-1} \cdot b \qquad x = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix}$$

$$x := \mathrm{lsolve}(A, b)$$

$$x = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix}$$

***Решение системы уравнений методом Гаусса***

Метод Гаусса, его еще называют методом Гауссовых исключений, состоит в том, что систему уравнений приводят последовательным исключением неизвестных к эквивалентной системе с треугольной матрицей.

В матричной записи это означает, что сначала (прямой ход метода Гаусса) элементарными операциями над строками приводят расширенную матрицу системы к ступенчатому виду, а затем (обратный ход метода Гаусса) эту ступенчатую матрицу преобразуют так, чтобы в первых n столбцах получилась единичная матрица. Последний, (n + 1) столбец этой матрицы содержит решение системы.

В MathCAD прямой и обратный ходы метода Гаусса выполняет функция rref(A).

Ïðèìåð 4. Решение системы уравнений методом Гаусса

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 = 30 \\ -x_1 + 2x_2 - 3x_3 + 4x_4 = 10 \\ x_2 - x_3 + x_4 = 3 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 10 \end{cases} \qquad A := \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ -1 & 2 & -3 & 4 \\ 0 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \qquad b := \begin{pmatrix} 30 \\ 10 \\ 3 \\ 10 \end{pmatrix}$$

ORIGIN := 1

Формирование расширенной матрицы системы:

A1 := augment(A, b)

$$A1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 30 \\ -1 & 2 & -3 & 4 & 10 \\ 0 & 1 & -1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 10 \end{pmatrix}$$

Приведение расширенной матрицы к ступенчатому виду (прямой и обратный ходы метода Гаусса

A2 := rref(A1)

$$A2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 4 \end{pmatrix}$$

x := submatrix(A2, 1, 4, 5, 5)

$$x = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix}$$

Проверка:

$$A \cdot x - b = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

***Решение систем уравнений с помощью функций Find или Minner***

Для решения системы уравнений с помощью функции Find необходимо выполнить следующее:

Задать начальное приближение для всех неизвестных, входящих в систему уравнений. MathCAD решает систему с помощью итерационных методов;

Напечатать ключевое слово Given. Оно указывает MathCAD, что далее следует система уравнений;

Введите уравнения и неравенства в любом порядке. Используйте [Ctrl]= для печати символа =. Между левыми и правыми частями неравенств может стоять любой из символов <, >, ≥ и ≤;

Введите любое выражение, которое включает функцию Find, например: x:= Find(x, y).

Ключевое слово *Given*, уравнения и неравенства, которые следуют за ним, и какое - либо выражение, содержащее функцию *Find*, называют **блоком решения уравнений**.

Ïðèìåð 5. Решение системы уравнений с помощью функции Find

$x1 := 0 \quad x2 := 0 \quad x3 := 0 \quad x4 := 0$ Начальные приближения

Given

$$x1 + 2x2 + 3x3 + 4x4 = 30$$
$$-x1 + 2 \cdot x2 - 3 \cdot x3 + 4x4 = 10$$
$$x2 - x3 + x4 = 3$$
$$x1 + x2 + x3 + x4 = 10$$

$$\text{Find}(x1, x2, x3, x4) = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix}$$

Функция *Minner* очень похожа на функцию *Find* (использует тот же алгоритм). Если в результате поиска не может быть получено дальнейшее

уточнение текущего приближения к решению, *Minner* возвращает это приближение. Функция *Find* в этом случае возвращает сообщение об ошибке. Правила использования функции *Minner* такие же, как и функции *Find*.

Функция Minerr(x1, x2, . . .) - возвращает приближенное решение системы уравнений. Число аргументов должно быть равно числу неизвестных.

***Символьное решение уравнений***

Имеются некоторые задачи, для которых возможности MathCAD позволяют находить решения в символьном (аналитическом) виде.

Решение уравнений в символьном виде позволяет найти точные или приближенные корни уравнения:

Если решаемое уравнение имеет параметр, то решение в символьном виде может выразить искомый корень непосредственно через параметр. Поэтому вместо того чтобы решать уравнение для каждого нового значения параметра, можно просто заменять его значение в найденном символьном решении;

Если нужно найти все комплексные корни полинома со степенью меньше или равной 4, символьное решение даст их точные значения в одном векторе или в аналитическом или цифровом виде.

Команда **Символы → Переменные → Вычислить** позволяет решить уравнение относительно некоторой переменной и выразить его корни через остальные параметры уравнения.

***Чтобы решить уравнение символьно, необходимо:***

Напечатать выражение (для ввода знака равенства используйте комбинацию клавиш Ctrl + =);

Выделить переменную, относительно которой нужно решить уравнение, щелкнув на ней мышью;

Выбрать пункт меню Символы → Переменные → Вычислить.

Нет необходимости приравнивать выражение нулю. Если MathCAD не находит знака равенства, он предполагает, что требуется приравнять выражение нулю.

*Чтобы решить систему уравнений в символьном виде, необходимо выполнить следующее:*

Напечатать ключевое слово Given;

Напечатать уравнения в любом порядке ниже слова Given. Удостоверьтесь, что для ввода знака = используется Ctrl + =;

Напечатать функцию Find, соответствующую системе уравнений;

Нажать Ctrl + .(клавиша CTRL, сопровождаемая точкой). MathCAD отобразит символьный знак равенства $\rightarrow$ ;

Щелкнуть мышью на функции Find.

Ïðèìåð 6. Решение системы уравнений в символьном виде

Given

$x + 2\cdot\pi\cdot y = a$

$4\cdot x + y = b$

$$\text{Find}(x,y) \rightarrow \begin{bmatrix} \dfrac{2\cdot\pi\cdot b - a}{-1 + 8\cdot\pi} \\ \dfrac{-(-4\cdot a + b)}{-1 + 8\cdot\pi} \end{bmatrix}$$

ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 4

Задание № 1

Построить график функции f(x) и приблизительно определить один из корней уравнения. Решить уравнение f(x) = 0 с помощью встроенной функции MathCAD root.

| Вариант | *f*(*x*) | Вариант | *f*(*x*) |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| | $e^{x-1} - x^3 - x$<br>$x \in [0,1]$ | | $0.25x^3 + x - 2$<br>$x \in [0,2]$ |
| | $x - \frac{1}{3 + sin(3.6x)}$<br>$x \in [0,1]$ | | $arccos\frac{1-x^2}{1+x^2} - x$<br>$x \in [2,3]$ |
| | $arccos\ x - \sqrt{1-0.3x^3}$<br>$x \in [0,1]$ | | $3x - 4\ln x - 5$<br>$x \in [2,4]$ |
| | $\sqrt{1-0.4x^2} - arcsin\ x$<br>$x \in [0,1]$ | | $e^x - e^{-x} - 2$<br>$x \in [0,1]$ |
| | $3x - 14 + e^x - e^{-x}$<br>$x \in [1,3]$ | | $\sqrt{1-x} - tg\ x$<br>$x \in [0,1]$ |
| | $\sqrt{2x^2 + 1.2 - cos\,x} - 1$<br>$x \in [0,1]$ | | $1 - x + sin\,x - ln(1+x)$<br>$x \in [0,2]$ |
| | $cos\left(\frac{2}{x}\right) - 2sin\left(\frac{1}{x}\right) + \frac{1}{x}$<br>$x \in [1,2]$ | | $x^5 - x - 0.2$<br>$x \in [1,2]$ |
| | $0.1x^2 - x\ln x$<br>$x \in [1,2]$ | | $sin\left(\frac{\pi x}{5.2}\right) + 0.84e^x$<br>$x \in [-2,1]$ |

Задание № 2

Для полинома g(x) выполнить следующие действия:

с помощью команды **Символы → Коэффициенты полинома** создать вектор V, содержащий коэффициенты полинома;

решить уравнение g(x) = 0 с помощью функции polyroots;

решить уравнение символьно, используя команду **Символы → Переменные → Вычислить**.

| Вариант | $g(x)$ | Вариант | $g(x)$ |
|---|---|---|---|
| | $x^4 - 2x^3 + x^2 - 12x + 20$ | | $x^4 + x^3 - 17x^2 - 45x - 100$ |
| | $x^4 + 6x^3 + x^2 - 4x - 60$ | | $x^4 - 5x^3 + x^2 - 15x + 50$ |
| | $x^4 - 14x^2 - 40x - 75$ | | $x^4 - 4x^3 - 2x^2 - 20x + 25$ |
| | $x^4 - x^3 + x^2 - 11x + 10$ | | $x^4 + 5x^3 + 7x^2 + 7x - 20$ |
| | $x^4 - x^3 - 29x^2 - 71x - 140$ | | $x^4 - 7x^3 + 7x^2 - 5x + 100$ |
| | $x^4 + 7x^3 + 9x^2 + 13x - 30$ | | $x^4 + 10x^3 + 36x^2 + 70x + 75$ |
| | $x^4 + 3x^3 - 23x^2 - 55x - 150$ | | $x^4 + 9x^3 + 31x^2 + 59x + 60$ |
| | $x^4 - 6x^3 + 4x^2 + 10x + 75$ | | $15x^4 - 6x^3 + 4x^2 - 12x - 10$ |

Задание № 3

Решить систему линейных уравнений:

матричным способом и используя функцию lsolve;

методом Гаусса;

используя функцию Find.

| Вариант | Система линейных уравнений | Вариант | Система линейных уравнений |
|---|---|---|---|
| | $\begin{cases} 2x_1 + x_2 + 2x_3 + 3x_4 = 8 \\ 3x_1 + 3x_3 = 6 \\ 2x_1 - x_2 + 3x_4 = 4 \\ x_1 + 2x_2 - x_3 + 2x_4 = 4 \end{cases}$ | | $\begin{cases} 2x_1 + x_2 - 5x_3 + x_4 = -4 \\ x_1 - 3x_2 - 6x_4 = -7 \\ 2x_2 - x_3 + 2x_4 = 2 \\ x_1 + 4x_2 - 7x_3 + 6x_4 = -2 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 = 22 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 = 17 \\ x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 8 \\ x_1 - 2x_3 - 3x_4 = -7 \end{cases}$ | | $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 = 26 \\ 2x_1 + 3x_2 + 4x_3 + x_4 = 34 \\ 3x_1 + 4x_2 + x_3 + 2x_4 = 26 \\ 4x_1 + x_2 + 2x_3 + 3x_4 = 26 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} 9x_1 + 10x_2 - 7x_3 - x_4 = 23 \\ 7x_1 - x_3 - 5x_4 = 37 \\ 5x_1 - 2x_3 + x_4 = 22 \\ 4x_1 + x_2 + 2x_3 + 3x_4 = 26 \end{cases}$ | | $\begin{cases} 2x_1 - 8x_2 - 3x_3 - 2x_4 = -18 \\ x_1 - 2x_2 + 3x_3 - 2x_4 = 28 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 10 \\ 11x_2 + x_3 + 2x_4 = 21 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} 6x_1 - x_2 + 10x_3 - x_4 = 158 \\ 2x_1 + x_2 + 10x_3 + 7x_4 = 128 \\ 3x_1 - 2x_2 - 2x_3 - x_4 = 7 \\ x_1 - 12x_2 + 2x_3 - x_4 = 17 \end{cases}$ | | $\begin{cases} 2x_1 - x_2 + 4x_3 + x_4 = 66 \\ 2x_2 - 6x_3 + x_4 = -63 \\ 8x_1 - 3x_2 + 6x_3 - 5x_4 = 146 \\ 2x_1 - 7x_2 + 6x_3 - x_4 = 80 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} x_1 - 2x_2 + 6x_3 + x_4 = 88 \\ 5x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 88 \\ 7x_1 - 3x_2 + 7x_3 + 2x_4 = 181 \\ 3x_1 - 7x_2 + 5x_3 + 2x_4 = 99 \end{cases}$ | | $\begin{cases} 2x_1 - 3x_3 - 2x_4 = -16 \\ 2x_1 - x_2 + 13x_3 + 4x_4 = 213 \\ 3x_1 + x_2 + 2x_3 + x_4 = 72 \\ x_1 - 12x_3 - 5x_4 = -159 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} x_1 - 2x_2 - 8x_4 = -7 \\ x_1 + 4x_2 - 7x_3 + 6x_4 = -8 \\ x_1 + x_2 - 5x_3 + x_4 = -10 \\ 2x_1 - x_2 + 2x_4 = 7 \end{cases}$ | | $\begin{cases} 7x_1 + 7x_2 - 7x_3 - 2x_4 = 5 \\ 3x_1 + 4x_2 + 5x_3 + 8x_4 = 60 \\ 2x_1 + 2x_2 + 2x_3 + x_4 = 27 \\ 2x_1 - 2x_3 - x_4 = -1 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} 2x_1 + 2x_2 + 6x_3 + x_4 = 15 \\ - x_2 + 2x_3 + x_4 = 18 \\ 4x_1 - 3x_2 + x_3 - 5x_4 = 37 \\ 3x_1 - 5x_2 + x_3 - x_4 = 30 \end{cases}$ | | $\begin{cases} 6x_1 - 9x_2 + 5x_3 + x_4 = 124 \\ 7x_2 - 5x_3 - x_4 = -54 \\ 5x_1 - 5x_2 + 2x_3 + 4x_4 = 83 \\ 3x_1 - 9x_2 + x_3 + 6x_4 = 45 \end{cases}$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | $\begin{cases} 4x_1 - 5x_2 + 7x_3 + 5x_4 = 165 \\ 2x_1 + x_2 - 3x_3 - x_4 = -15 \\ 9x_1 + 4x_3 - x_4 = 194 \\ x_1 - x_2 - 2x_3 - 3x_4 = -19 \end{cases}$ | | $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 2x_3 + 4x_4 = 30 \\ -x_1 + 2x_2 - 3x_3 + 4x_4 = 10 \\ x_2 - x_3 + x_4 = 3 \\ x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 10 \end{cases}$ |

Задание № 4

Преобразовать нелинейные уравнения системы к виду f 1(x) = y и f 2 (y)= x. Построить их графики и определить начальное приближение решения.

Решить систему нелинейных уравнений с помощью функции *Minerr*.

| Вариант | Система нелинейных уравнений | Вариант | Система нелинейных уравнений |
|---|---|---|---|
| | $\begin{cases} \sin x + 2y = 2 \\ \cos(y - 1) + x = 0{,}7 \end{cases}$ | | $\begin{cases} \sin y + x = -0{,}4 \\ 2y - \cos(x + 1) = 0 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} \sin(x + 0{,}5) - y = 1 \\ \cos(y - 2) + x = 0 \end{cases}$ | | $\begin{cases} \sin(x + 2) - y = 1{,}5 \\ \cos(y - 2) + x = 0{,}5 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} \cos x + y = 1{,}5 \\ 2x - \sin(y - 0{,}5) = 1 \end{cases}$ | | $\begin{cases} \cos(x + 0{,}5) - y = 2 \\ \sin y - 2x = 1 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} \cos(x + 0{,}5) + y = 0{,}8 \\ \sin y - 2x = 1{,}6 \end{cases}$ | | $\begin{cases} \cos(x - 2) + y = 0 \\ \sin(y + 0{,}5) - x = 1 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} \sin(x - 1) = 1{,}3 - y \\ x - \sin(y + 1) = 0{,}8 \end{cases}$ | | $\begin{cases} \cos(x + 0{,}5) + y = 1 \\ \sin(y + 0{,}5) - x = 1 \end{cases}$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | $\begin{cases} cos(x+0{,}5)+y=1 \\ \sin y-2x=2 \end{cases}$ | | $\begin{cases} sin(x)-2y=1 \\ cos(y+0{,}5)-x=2 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} -sin(x+1)+y=0{,}8 \\ sin(y-1)+x=1{,}3 \end{cases}$ | | $\begin{cases} 2y-sin(x-0{,}5)=1 \\ cos(y)+x=1{,}5 \end{cases}$ |
| | $\begin{cases} sin(x)-2y=1 \\ sin(y-1)+x=1{,}3 \end{cases}$ | | $\begin{cases} x^2+y^2=25 \\ x^2-1=0 \end{cases}$ |

Задание № 5

Символно решить системы уравнений.

$$\begin{cases} 3x+4\pi\ y=a \\ 2x+y=b \end{cases} \qquad \begin{cases} 2y-\pi z=a \\ \pi z-z=b \\ 3y+x=c \end{cases}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Как можно решить нелинейное уравнение в MathCAD?

Как найти начальное приближение корня уравнения?

Для чего используется функция *polyroots?*

Как можно решить систему линейных уравнений?

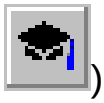
Как можно решить систему нелинейных уравнений?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. СИМВОЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Символьные операции можно выполнять двумя способами:

Непосредственно в командном режиме (используя операции команды меню **Символы**);

С помощью операторов символьного преобразования (используя палитру инструментов Символы  ).

Выделение выражений для символьных вычислений

Чтобы символьные операции выполнялись, процессору необходимо указать, над каким выражением эти операции должны производиться, т. е. надо выделить выражение. Для ряда операций следует не только указать выражение, к которому они относятся, но и наметить переменную, относительно которой выполняется та или иная символьная операция. Само выражение в таком случае не выделяется.

Таким образом, для выполнения операций с символьным процессором нужно выделить объект (целое выражение или его часть) синими сплошными линиями.

Символьные операции разбиты на пять характерных разделов. Первыми идут наиболее часто используемые операции. Они могут выполняться с выражениями, содержащими комплексные числа или имеющими решения в комплексном виде.

Символьные операции

Операции с выделенными выражениями

Если в документе есть выделенное выражение, то с ним можно выполнять различные операции, представленные ниже.

**Расчеты** - преобразовать выражение с выбором вида преобразований из подменю:

Символические [Shift] + F9 - выполнить символьное преобразование выделенного выражения;

С плавающей запятой… - вычислить выделенное выражение в вещественных числах;

Комплексные – выполнить вычисления в комплексном виде;

**Упростить** - упростить выделенное выражение с выполнением таких операций, как сокращение подобных слагаемых, приведение к общему знаменателю, использование основных тригонометрических тождеств и т д.;

**Развернуть** - раскрыть выражение (например, для (X + Y) (X - Y) получаем $X^2$- $Y^2$);

**Фактор** - разложить число или выражение на множители (например, $X^2$ - $Y^2$ даст (X + Y) (X - Y));

**Подобные** - собрать слагаемые, подобные выделенному выражению, которое может быть отдельной переменной или функцией со своим аргументом (результатом будет выражение, полиномиальное относительно выбранного выражения);

**Коэффициенты Полинома** - по заданной переменной найти коэффициенты полинома, аппроксимирующего выражение, в котором эта переменная использована.

Операции с выделенными переменными

Для ряда операций надо знать, относительно какой переменной они выполняются. В этом случае необходимо выделить переменную, установив на ней маркер ввода. После этого становятся доступными следующие операции команды меню **Символы → Переменные:**

**Вычислить** - найти значения выделенной переменной, при которых содержащее ее выражение становится равным нулю;

**Замена** - заменить указанную переменную содержимым буфера обмена;

**Дифференциалы** - дифференцировать выражение, содержащее выделенную переменную, по этой переменной (остальные переменные рассматриваются как константы);

**Интеграция** - интегрировать все выражение, содержащее переменную, по этой переменной;

**Разложить на составляющие**... - найти несколько членов разложения выражения в ряд Тейлора относительно выделенной переменной;

**Преобразование в Частичные Доли** - разложить на элементарные дроби выражение, которое рассматривается как рациональная дробь относительно выделенной переменной.

Операции с выделенными матрицами

Операции с выделенными матрицами представлены командой меню **Символы → Матрицы**, которая имеет свое подменю со следующими операциями:

**Транспонирование** - получить транспонированную матрицу;

**Инвертирование** - создать обратную матрицу;

**Определитель** - вычислить детерминант (определитель) матрицы.

Операции преобразования

В позиции **Конвертировать** содержится раздел операций преобразования со следующими возможностями:

**Фурье** - выполнить прямое преобразование Фурье относительно выделенной переменной;

**Фурье Обратное** - выполнить обратное преобразование Фурье относительно выделенной переменной;

**Лапласа** - выполнить прямое преобразование Лапласа относительно выделенной переменной (результат - функция переменной s);

**Лапласа Обратное** - выполнить обратное преобразование Лапласа относительно выделенной переменной (результат - функция переменной t);

Z - выполнить прямое Z - преобразование выражения относительно выделенной переменной (результат - функция переменной z);

**Обратное Z** - выполнить обратное Z - преобразование относительно выделенной переменной (результат - функция переменной n) .

Стиль представления результатов вычислений

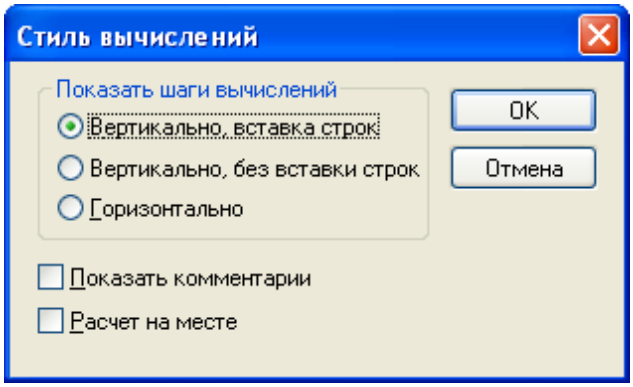



Рисунок 5.1 – Стиль вычислений

На наглядность вычислений влияет стиль представления их результатов. Следующая команда позволяет задать тот или иной стиль: **Символы → Стиль Вычислений...**

Символьные вычисления

$\pi$ $\quad$ $\sqrt{-3}$

3.14159265359 $\quad$ $i \cdot 3^{\frac{1}{2}}$

$\frac{d}{dx}\cos(x)^2 \to -2\cdot\cos(x)\cdot\sin(x)$ $\quad$ $\sum_{i=1}^{10} i \to 55$

$\int \sin(2\cdot x)\,dx \to \frac{-1}{2}\cdot\cos(2\cdot x)$

$\cos(4\cdot x)\ \text{expand},x \to 8\cdot\cos(x)^4 - 8\cdot\cos(x)^2 + 1$

$\cos(4\cdot x)$

$8\cdot\cos(x)^4 - 8\cdot\cos(x)^2 + 1$

$\sqrt{3.01}\,\text{simplify} \to 1.7349351572897472412$

ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ 5

**Задание № 1**. Используя операцию Символы → Расчеты → С плавающей запятой…, представьте:

число π в семи позициях;

число 12,345667 в трех позициях.

**Задание № 2.** Выведите следующие числа в комплексной форме, используя операцию Символы → Расчеты → Комплексные:

1) $\sqrt{-7}$;

2) $e^{1+\frac{\pi}{4}i}$;

3) для выражения 2) последовательно выполните операции Расчеты → Комплексные и Символы → Упростить.

**Задание № 3.** Для полинома g(x) выполнить следующие действия:

разложить на множители, используя операцию Символы → Фактор;

подставьте выражение x = y + z в g(x), используя операцию Символы → Переменные → Замена (предварительно скопировав подставляемое выражение в буфер обмена, выделив его и нажав комбинацию клавиш Ctrl + C);

используя операцию Символы → Расширить, разложите по степеням выражение, полученное в 2);

используя операцию Символы → Подобные, сверните выражение, полученное в 3), по переменной z.

| Вариант | $g(x)$ | Вариант | $g(x)$ |
|---|---|---|---|
| | $x^4 - 2x^3 + x^2 - 12x + 20$ | | $x^4 + x^3 - 17x^2 - 45x - 100$ |
| | $x^4 + 6x^3 + x^2 - 4x - 60$ | | $x^4 - 5x^3 + x^2 - 15x + 50$ |
| | $x^4 - 14x^2 - 40x - 75$ | | $x^4 - 4x^3 - 2x^2 - 20x + 25$ |
| | $x^4 - x^3 + x^2 - 11x + 10$ | | $x^4 + 5x^3 + 7x^2 + 7x - 20$ |
| | $x^4 - x^3 - 29x^2 - 71x - 140$ | | $x^4 - 7x^3 + 7x^2 - 5x + 100$ |
| | $x^4 + 7x^3 + 9x^2 + 13x - 30$ | | $x^4 + 10x^3 + 36x^2 + 70x + 75$ |
| | $x^4 + 3x^3 - 23x^2 - 55x - 150$ | | $x^4 + 9x^3 + 31x^2 + 59x + 60$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | $x^4 - 6x^3 + 4x^2 + 10x + 75$ | | $15x^4 - 6x^3 + 4x^2 - 12x - 10$ |

**Задание № 4.** Разложите выражения на элементарные дроби используя операцию Символы → Переменные → Конвертировать в частичные доли:

$$\frac{6x^2 - x + 1}{x^3 - x}; \qquad \frac{3x^2 - 2}{(x^2 + x + 1)(x + 1)};$$

$$\frac{x + 1}{x(x - 1)^3}; \qquad \frac{5x^2 - 4x + 16}{(x^2 - x + 1)^2 (x - 3)}.$$

**Задание № 5.** Разложите выражения в ряд с заданной точностью, используя операцию Символы → Переменные → Разложить…:

$\ln(1 + x)$, $x_0 = 0$, порядок разложения 6;

$\sin(x)^2$, $x_0 = 0$, порядок разложения 6.

**Задание № 6.** Найти первообразную аналитически заданной функции $f(x)$ используя команду Символы → Переменные → Интеграция.

**Задание № 7.** Определить символьное значение первой и второй производных $f(x)$, используя команду Символы → Переменные → Дифференциалы.

**Варианты заданий № 6 и № 7**

| Вариа | $f(x)$ | Вари т | $f(x)$ | Вариа | $f(x)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\frac{1}{tg\,2x + 1}$ | | $x^2 arctg\left(\frac{x}{3}\right)$ | | $(2x + 3)\sin x$ |
| | $\frac{\cos x}{2x + 5}$ | | $e^{2x} \sin 3x$ | | $\frac{\cos 3x}{(1 - \cos 3x)^2}$ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\frac{1}{x\sqrt{x^3+4}}$ | | $\frac{ctg\,2x}{sin^2\,2x}$ | | $\frac{1}{1+x+x^2}$ |
| | $\frac{sin\,x}{1+sin\,x}$ | | $(x+1)sin\,x$ | | $\frac{1+x}{2+x}$ |
| | $x^2\,lg(x+2)$ | | $5x+x\,lg\,x$ | | $\sqrt{1+e^{-x}}$ |

**Задание № 8.**

1. Транспонируйте матрицу $M$ с помощью операции Символы → Матрицы → Транспонирование.

$$\begin{pmatrix} 1 & a & b \\ x & 2 & c \\ x^2 & 3 & d \end{pmatrix}$$

2. Инвертируйте матрицу $\begin{pmatrix} 1 & y \\ x & 2 \end{pmatrix}$ с помощью операции Символы → Матрицы → Инвертирование.

3. Вычислите определитель матрицы $\begin{pmatrix} 1 & a & b \\ x & 2 & c \\ x^2 & 3 & d \end{pmatrix}$ с помощью операции Символы → Матрицы → Определитель.

**Задание № 9.** Вычислите пределы.

1. $\lim\limits_{x \to 4} \frac{\sqrt{1+2x}-3}{\sqrt{x}-2}$.

2. $\lim\limits_{x \to -8} \frac{\sqrt{1-x}-3}{2+\sqrt[3]{x}}$.

3. $\lim\limits_{x \to 1} \frac{x^2-1}{\ln x}$.

4. $\lim\limits_{x \to 1} \frac{\sqrt{x^2-x+1}-1}{\ln x}$.

**Задание № 10.** Найдите сумму ряда.

1. $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{6}{9n^2+12n-5}$.

2. $\sum_{n=2}^{\infty} \frac{24}{9n^2-12n-5}$

**Задание № 11.** Найдите производную и упростите выражение.

1. $y = \frac{4x+1}{16x^2+8x+3} + \frac{1}{\sqrt{2}} \operatorname{arctg} \frac{4x+1}{\sqrt{2}}$.

2. $y = \frac{2}{x-1}\sqrt{2x-x^2} + \ln \frac{1+\sqrt{2x-x^2}}{x-1}$.

**Задание № 12.** Вычислите неопределенные интегралы.

1. $\int (3x+4)e^{3x}dx$.

2. $\int (4x-2)\cos 2x dx$.

**Задание № 13.** Вычислите определенные интегралы.

1. $\int_{-2}^{0} (x^2+5x+6)\cos 2x dx$.

2. $\int_{-2}^{0} (x^2-4)\cos 3x dx$.

# ПРИМЕР КУРСОВОГО ПРОЕКТА

## Введение

Конструирование и проектирование являются одними из основных составляющих практической деятельности инженера. Этим объясняется важность дисциплины "Основы конструирования и САПР". Данная дисциплина изучается студентами заочной формы обучения специальности 43.01.05 – «Промышленная теплоэнергетика» на седьмом семестре и является одной из дисциплин цикла математической и вычислительно-информационной подготовки.

Актуальность дисциплины определяется повышением сложности объектов энергетики и промышленности, необходимостью применения системного подхода и методов моделирования в повседневной деятельности конструкторов и проектировщиков. В учебном плане по дисциплине "Основы конструирования и САПР" предусмотрено выполнение курсового проекта, целью которой является приобретение студентами практических навыков конструирования на примере теплотехнических устройств и аппаратов. В связи с тем, что к моменту выполнения данного курсового проекта студенты только приступают к изучению специальных дисциплин, в качестве основных объектов проектирования приняты горелочные устройства. Основы аэородинамического и гидравлического расчетов которых рассматриваются в дисциплинах «Техническая термодинамика», «Гидрогазодинамика», процессы горения в дисциплине «Основы горения топлива». Курсовой проект состоит из двух частей: конструирования горелочного устройства и анализа эффективности подогрева компонентов горения.

1. Объем и содержание курсового проекта

### 1.1. Задачи и цели выполнения курсового проекта

Основными задачами курсового проекта являются:

- освоение основ методики конструкторского расчета горелочных устройств для промышленных печей;
- освоение методики оценки эффективности подогрева компонентов горения органического топлива;
- приобретение навыков построения алгоритмов расчета конструкций теплотехнических устройств;
- приобретение навыков построения алгоритмов расчета режимных параметров работы теплотехнических систем;
- приобретение навыков вычислительного эксперимента при исследования теплотехнических объектов.

Курсовой проект выполняется в соответствии с заданием, в котором указывается его тема, исходные данные, перечень вопросов, подлежащих разработке и отражению в пояснительной записке и графической части, сроки и график выполнения работы. Задание оформляется на специальном бланке и выдается преподавателем.

## 1.2. Последовательность выполнения курсового проекта

Несмотря на многообразие предлагаемых для конструирования студентам горелочных устройств для промышленных печей, выполнение курсового проекта производится в определенной последовательности:

- предварительное обследование аналогов объекта конструирования и описание конструкций сожигательных устройств;
- разработка алгоритм расчета сожигательного устройства;
- расчет сожигательного устройства и графическое представление эскизного варианта конструкции;
- описание схемы регенеративного подогрева компонентов горения;
– разработка алгоритм расчета эффективности подогрева компонентов и составление программы для ПЭВМ, ее отладка и тестирование;
– проведение вычислительного эксперимента, анализ полученных результатов по эффективности подогрева компонентов горения топлива.

Указанные этапы выполнения курсового проекта фиксируются сроками их выполнения в задании на проект.

## 1.3. Состав курсового проекта

*1.3.1. Расчетно-пояснительная записка*. В расчетно-пояснительной записке должны быть отражены все этапы выполнения проекта согласно полученного студентом задания, приведены необходимые математические выкладки и расчеты с необходимым графическим сопровождением, а также приведено описание алгоритма для анализа эффективности подогрева компонентов горения, тексты программ на алгоритмическом языке, разработанные студентом в ходе выполнения проекта, с необходимой сопроводительной документацией. Реализация построенной математической модели может быть осуществлена в рамках специализированных программных пакетов, например, в пакете *MathCad*. Численная информация, полученная в ходе исследования, должна быть обработана и представлена в удобном для анализа графическом виде.

Расчетно-пояснительная записка состоит из титульного листа, задания на проектирование, реферата, содержания, перечня основных обозначений,

введения, основной части, выводов по результатам работы и списка литературы. Объем основного материала расчетно-пояснительной записки курсового проекта должен составлять 40–50 страниц рукописного или 25–35 страниц машинописного текста. Тексты машинных программ и численные результаты исследования приводятся в приложениях к расчетно-пояснительной записке и не входят в указанное число страниц. Основная часть расчетно-пояснительной записки должна состоять из разделов, соответствующих рубрикам перечня вопросов, необходимых для разработки согласно заданию на курсовое проектирование.

*1.3.2. Графическая часть работы.* Графическая часть состоит из восьми листов формата А3. На них студент должен представить необходимую графическую иллюстрацию к текстовой части проекта, эскиз конструкции сожигательного устройства, графическое представление полученных результатов численного исследования. Оформление графической части выполняется с помощью пакета *AutuCad*.

## 2. Содержание расчетно-пояснительной записки

### 2.1. Введение

В разделе «Введение» студент должен дать краткую характеристику методам конструирования и проектирования и основным тенденциям их развития, краткое описание области применения сожигательных устройств, подлежащего конструированию.

### 2.2. Предварительное обследование объекта конструирования

В данном разделе проекта необходимо представить краткий обзор существующих конструкций горелочных устройств, их роли в энергетике и промышленности

Далее студент на основании выполненного литературного обзора приводит основы методики расчета сожигательного устройства заданного по заданию типа. Приводит основные расчетные зависимости.

Следует также уделить внимание используемым теплоносителям (средам) и технологическим материалам, которые находят применение в исследуемой системе. Описать возможности определения их теплофизических свойств в ходе моделирования и численного анализа.

### 2.3. Расчет сожигательного устройства и графическое представление эскизного варианта конструкции

На основании приведенной в предыдущем разделе проекта методики производится конструктивный расчет горелочного устройства с определением основных параметров конструкции. Выполняются эскизные проработки конструкции.

### 2.4. Описание схемы регенеративного подогрева компонентов горения, анализ и уточнение области исследования

В данной части проекта представляется расчетная схема регенеративного подогрева компонентов горения, применяемая в промышленных печах. Даются основные математические соотношения, позволяющие оценить эффективность регенерации. Уточняются численные значения режимных параметров, определяющих область исследования.

### 2.5. Разработка алгоритм расчета эффективности подогрева компонентов и составление программы для ПЭВМ, ее отладка и тестирование

На основании материала из предыдущего раздела курсового проекта разрабатывается алгоритм численного исследования, на основании которого составляется программа для ПЭВМ. Выполняется численный контрольный пример, на базе которого проводится отладка и тестирование программы.

### 2.6. Проведение вычислительного эксперимента, анализ полученных результатов по эффективности подогрева компонентов горения топлива

С использованием программы составленной в предыдущем разделе курсового проекта выполняется многовариантный расчет с оценкой эффективности подогрева компонентов горения органического топлива заданного состава. Результаты расчета представляются в табличном и графическом виде. Делаются основные выводы по численному исследованию.

### 2.7. Заключение

В данной части проекта студент констатирует итоги выполненной работы и дает обобщенные выводы по проекту.

## 3. Оформление проекта

Расчетно-пояснительную записку оформляют в соответствии с требованиями стандартов по выполнению текстовых документов с отдельными упрощениями, обусловленными учебным характером проекта.

Расчетно-пояснительная записка начинается с титульного листа, за которым следует задание на проектирование. На третьем листе помещается реферат к проекту, далее – список основных сокращений и содержание работы. В последнем приводятся наименование разделов и подразделов, а также номер листа, с которого они начинаются.

Весь материал пояснительной записки размещают на листах писчей бумаги размером 297×210 (формат А4). Текст располагают на одной стороне листа. Допускается как ручное (чернилами), так и машинное исполнение расчетно-пояснительной записки. Нумерация текстовых листов делается сквозной, а рисунков, таблиц и формул – по разделам. Каждый раздел пояснительной записки начинают с нового листа под соответствующим порядковым номером, указанным в содержании. Схемы и рисунки, вносимые в текст записки, рекомендуется выполнять на листах формата А4 (297×210) или А3 (297×420). Пояснительная записка брошюруется.

Графическая часть проекта выполняется на листах формата А3 (297×420), которые располагаются как приложение расчетно-пояснительной записке. Рекомендуется машинное выполнение графической части. На каждом листе должна быть рамка и штамп.

В приложениях также приводятся разработанные студентом программы, сопровождающая их документация и результаты численных расчетов на ПЭВМ.

**Министерство образования Республики Беларусь**

***Учебно-методическое объединение вузов Республики Беларусь по образованию в области энергетики и энергетического оборудования***

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель Министра образования

Республики Беларусь

_____А.И. Жук

«___» _____ 2010 г.

Регистрационный № ТД-_____/тип.

Основы конструирования и САПР

**Типовая учебная программа**

**для высших учебных заведений по специальностям:**

1- 43 01 05 – Промышленная теплоэнергетика

**СОГЛАСОВАНО**

Председатель учебно-методического объединения вузов Республики Беларусь

по образованию в области энергетики и энергетического оборудования

_____Ф.А. Романюк

_____

**СОГЛАСОВАНО**

Начальник Управления высшего и среднего специального образования

Министерства образования Республики Беларусь

_____Ю.И. Миксюк

_____

Ректор Государственного

учреждения образования

"Республиканский институт высшей школы"

_____ М.И. Демчук

_____

Эксперт-нормоконтролер

_____

_____

Минск 2016

СОСТАВИТЕЛЬ:

Петровская Т. А., кафедра "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" Белорусского национального технического университета.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра промышленной теплоэнергетики Учреждения образования Гомельский государственный технологический университет им. П. Сухого (протокол № __ от _____ 200_г.);

В.М. Сыропущинский, начальник производственно-технического отдела РУП "БелНИПИЭНЕРГОПРОМ", кандидат технических наук

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" Белорусского национального технического университета

(протокол №____ от _____ 2016 г.)

Научно-методической комиссией Белорусского национального технического университета

(протокол №____ от _____ 2016 г.)

Учебно-методическим объединением вузов Республики Беларусь по образованию в области энергетики и энергетического оборудования

(протокол №____ от _____ 200_г.)

Ответственный за редакцию: _____

Ответственный за выпуск: В А Седнин

# УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

## ВВЕДЕНИЕ

Типовая программа "Основы конструирования и системы автоматизированного проектирования" (ОК и САПР) разработана в соответствии с требованиями образовательных стандартов для специальности 1 – 43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» высших учебных заведений.

Целью изучения дисциплины "Основы конструирования и САПР" формирование у студентов комплекса знаний по современным методам конструирования и проектирования теплотехнических систем и установок и приобретение ими навыков в области применения систем автоматизированного проектирования.

Целесообразность изучения данной дисциплины определяется современными тенденциями развития техносферы, следуя которым одним из основных факторов повышение качества и производительности труда проектировщиков и конструкторов различных отраслей реального сектора является широкое внедрение в инженерную практику систем автоматизированного проектирования.

В ходе изучения дисциплины «Основы конструирования и САПР» студент должен ознакомиться с основными методами конструирования и проектирования, математического моделирования объектов проектирования, автоматизированного выполнения проектных процедур, назначением и возможностями инвариантных компонент технического, программного, информационного обеспечения САПР; научиться формулировать проектные задачи для решения в САПР, выбирать нужные методы и прикладные программы, выполнять проектные процедуры в интерактивном режиме работы с ЭВМ, правильно интерпритировать получаемые результаты, освоить определенные навыки работы с программными продуктами, применяемыми в сфере теплоэнергетики.

Материал дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при изучении следующих дисциплин: «Высшая математика», «Информатика», «Техническая термодинамика», «Информатика», «Прикладная механика» и «Гидрогазодинамика».

В результате освоения курса «Основы конструирования и САПР» студент должен знать:

- основные закономерности и тенденции развития технических объектов;
- основные положения современных методов конструирования и проектирования технических объектов;
- методы информационного и технического обеспечения систем автоматизированного проектирования энергетических объектов;
- инновационные пути повышения качества проектных работ;
- состав и разделы рабочего проекта теплоэнергетических объектов;
- состав и назначение основных компонент систем автоматизированного проектирования;
- практические приемы работы с автоматизированными системами;

**Уметь:**

- принимать технические решения при проектировании теплоэнергетических объектов;
- выполнять чертежи технических объектов и систем с использованием компьютерной графики;
- разрабатывать и оформлять проектную документацию для теплоэнергетического объекта с помощью компьютерной графики;
- проводить численные расчеты с помощью специализированных программных продуктов в области теплоэнергетики.

**Диагностика компетенций студента**

Оценка уровня знаний студента при защите курсовой работы производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента используется следующий диагностический инструментарий:

–защита лабораторных работ;

– защита курсового проекта;

– проведение текущих контрольных вопросов по отдельным темам;

– сдача зачета по дисциплине.

Изучение курса «Основы конструирования и САПР» рассчитано максимально на 185 часов, в том числе – 102 часов аудиторных занятий.

Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий:

лекции – 36 часов;

лабораторные работы – 72 часов.

**Примерный тематический план курса**

| **Наименование темы** | **Лекц и часы)** | **Практ ическ е заняти часы)** | **Лабо торны антия часы)** | **Всего удито ных асов** |
|---|---|---|---|---|
| **Введение. Роль и место онструирования и проектирования в овременном мире** | 2 | | | 2 |
| **Раздел I. Общие сведения о роектировании и конструировании ехнических объектов** | 10 | | 40 | 50 |
| Тема 1. Этапы существования ехнического объекта | 2 | | | 2 |
| Тема 2. Система, конструкция и роцесс удовлетворения потребностей | 2 | | | 2 |
| Тема 3. Основы методологии роектирования и конструирования | 2 | | | 2 |
| Тема 4. Методы проектирования и онструирования | 2 | | | 2 |
| Тема 5. Основы компьютерной рафики | 2 | | 40 | 42 |
| **Раздел II. Теоретические основы азвития техносферы и инженерного ворчества** | 6 | | | 6 |
| Тема 6. Основные понятия техники | 2 | | | 4 |
| Тема 7. Основные законы строения и азвития техносферы Методы нженерного творчества | 4 | | | 4 |
| **Раздел III. Основы конструирования проектирования технических бъектов** | 6 | | 16 | 22 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Тема 8. Основные принципы онструирования технических объектов | 2 | | | |
| Тема 9. Основные положения роектирования теплотехнических истем | 4 | | 16 | |
| **Раздел IV. Организация САПР** | 6 | | | 6 |
| Тема 10. Технологическое построение роцесса автоматизированного роектирования | 2 | | | 2 |
| Тема 11. Основные положения по рганизации САПР | 2 | | | 2 |
| Тема 12. Виды обеспечения САПР | 2 | | | 2 |
| **Раздел V. Системы втоматизированного проектирования еплотехнических объектов** | 6 | | 16 | 22 |
| Тема 13. Автоматизация расчетных и роектных работ при создании еплотехнических систем | 4 | | 8 | 8 |
| Тема 14. Системное моделирование и ункционирования САПР еплообменных объектов | 2 | | 8 | 10 |
| **ВСЕГО** | 36 | | 72 | 108 |

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**Введение.** Роль и место конструирования и проектирования в современном мире. Методология творческой инженерно-технической деятельности. Требования к новым методам проектирования. Роль и значение автоматизации проектирования в ускорении научно-технического прогресса и развития национального хозяйства страны.

**Раздел I. Общие сведения о проектировании и конструировании технических объектов**

**Тема 1. Этапы существования технического объекта**.

Характеристика связей при проектировании Моральный аспект проектирования. Элементы науки, математики и искусства в проектировании. История развития проектирования и конструирования.

Техническое средство. Существенная роль технических средств. Существенные особенности технических средств. Технический мегакомплекс, антропотехнические и социотехнические комплексы.

**Тема 2. Система, конструкция и процесс удовлетворения потребностей**

Техническая система. Иерархическая структура, разновидности отношений. Основы описания системы. Схемы систем. Понятие черного ящика. Разновидности систем. Общая информационная система Потребность - действие - система - функционирующий комплекс

Изделие и конструкция Проект и изделие Массовое производство изделий. Техническая информация в процессе изготовления. Развитие специализации в проектировании и конструировании. Определение конструкции, ее свойства. Структуры изделия. Состояния изделия. Сущность комплекса структур и состояний изделия. Качественное и дефектное изделие. Конструктивные характеристики. Микро- и макроструктура. Воссоздание конструкции.

Запись конструкции. Запись - средство коммуникации и памяти. Технические чертежи. Принципы и правило записи конструкции. Сущность записи конструкции. Запись конструктивного вида. Запись комплекса размеров. Машинная запись.

Система, конструкция и процесс удовлетворения потребностей. Проектирование, конструирование и капиталовложения. Постепенное увеличение области технико-экономических действий. Проектирование в самом широком смысле. Системное единство производства и эксплуатации. Значение решений в процессе удовлетворения потребностей. Информационная система как основа сложного действия.

Оптимизация. Стремление к оптимизации – врожденная человеческая склонность. Формальное условие оптимизации. Сущность выбора. Прямая оптимизация. Проблема множества оптимальных величин. Оптимизация без экстремума. Оптимизация с компромиссным критерием. Сложная оптимизация. Дивергентно- конвергентный процесс. Метод взвешенных оценок. Прогнозируемые оптимумы. Итерационные процедуры.

Комплекс критериев. Проблема выбора критериев. Роль критериев. Обоснование целесообразности создания технического средства. Критерий социальной адекватности. Критерии устранения избыточности. Обоснование целесообразности создания изделия. Критерии классификации технического средства и изделия. Стереотипные критерии. Обобщенные характеристики комплекса критериев. Требования конкретных потребителей.

Основы нормализации. Закон ограниченного многообразия. Нормализация и развитие конструирования. Унификация и типизация. Социальные выгоды.

Принципы конструирования. Свойства и особенности изделия. Принцип оптимального нагружения. Принцип оптимального материала. Принцип оптимальной стабильности. Принцип оптимальных соотношений взаимосвязанных величин.

**Тема 3. Основы методологии проектирования и конструирования**

Действие - способ- метод. Анализ творческих технических действий. Обобщенная основа различия проектирования и конструирования. Системный подход. Системное проектирование. Часть и целое как проблема проектирования. Типы проектно-конструкторского процесса. Основные этапы и уровни абстракций, нелинейность проектно-конструкторского процесса. Предпосылки методов проектирования и конструирования.

Артефакт в системном проектировании. Ответственность за артефакты. Существование артефакта во времени. Вопросы системного проектирования. Метод кругооборота информации, массы и энергии.

Установление потребностей. Понятие несоответствия. Установление и потребностей. Условия установления потребностей. Проверка результатов установления потребностей. Внешняя потребность, задание, внутренняя потребность. Операционные возможности. Потребности в технических средствах. Потребность в системе.

Методы проектирования и конструирования. Общие основы эвристических методов. Создание технических концепций. Программа деятельности как метод. Практический подход. Эвристические методы. Алгоритмические методы. Выбор стратегии и методов проектирования. Методы исследования проектных ситуаций. Методы поиска идеи. Методы исследования структуры проблем. Методы оценки проектных решений. Методы функционального проектирования. Методология проецирования как проектного изыскания.

**Тема 5. Основы компьютерной графики**

Истоки и история графического общения. Основы современной инженерной графики. Средства электронного черчения. Геометрические построения. Генерация символов. Векторная графика. Растровая графика. Геометрическое моделирование. Базовая конструкторская графика.

**Раздел II. Теоретические основы развития техносферы и инженерного творчества**

**Тема 6. Основные понятия техники**

Выбор понятий. Технический объект и технология. Иерархия описания технических объектов. Систематика задач поиска и выбора проектно-конструкторских решений. Окружающая среда технического объекта. Список требований, которым должен соответствовать технический объект. Модели технического объекта

Функционально-физический анализ технических объектов. Конструктивная функциональная структура. Потоковая функциональная структура. Описания физического принципа действия технического потока.

Критерии развития технических объектов. Требования к выбору критериев развития. Функциональные критерии развития. Технологические критерии развития. Экономические критерии развития. Энергетические критерии развития. Антропологические критерии развития.

**Тема 7. Основные законы строения и развития техносферы. Методы инженерного творчества**

Конструктивная эволюция технических объектов. Законы строения и развития техники. Методика описания конструктивной эволюции и анализа технических объектов. Законы техники: прогрессивной эволюции техники. соответствия между функцией и структурой. стадийного развития техники.

Методы инженерного творчества. Метод мозговой атаки. Метод эвристических приемов.

**Раздел III. Основы конструирования и проектирования технических объектов**

**Тема 8. Основные принципы конструирования технических объектов**

Задачи конструирования. Экономические основы конструирования технических объектов: коэффициент использования технических объектов, рентабельность технических объектов, экономический эффект от работы технических объектов, срок окупаемости, коэффициент эксплуатационных расходов, коэффициент стоимости технических объектов. Главные факторы, определяющие экономичность технических объектов.

Критерии долговечности технических объектов. Срок службы технических объектов не периодического действия. Расчетная долговечность. Средства

повышения долговечности. Пределы повышения долговечности. Долговечность и техническое устаревание.

Эксплуатационная надежность. Факторы, характеризующие надежность технических объектов. Пути повышения надежности. Унификация. Стандартизация. Классификация методов создания производственных унифицированных технических объектов: секционирование, метод изменения линейных размеров, метод базового агрегата, конвертирование, компаундирование, модифицирование, агрегатирование, комплексная стандартизация, унифицированные ряды. Общие правила конструирования.

**Тема 9. Основные положения по проектированию технических систем**

Основные стадии проектирования, задание на проектирование, технические условия, содержание и состав проекта. Основные разделы проектной документации для теплоэнергетических объектов. Технология выполнения и оформления технической документации на проектируемый теплоэнергетический объект. Комплектация проектно- конструкторской документации для проектируемого теплоэнергетического объекта.

**Тема 10. Технологическое аспекты процесса проектирования**

Типовые проектные процедуры. Понятие о процедурах структурного и параметрического синтеза, структурной и параметрической оптимизации, одновариантного и многовариантного анализа и верификации.

**Раздел IV. Организация САПР**

**Тема 11. Основные положения по организации САПР**

Комплекс средств автоматизированного проектирования. Основные компоненты САПР. Подсистемы САПР: информационная подсистема, подсистема поиска решений технических задач, подсистема инженерного анализа, подсистема ведения и изготовления документации. Алгоритм функционирования САПР. Принципы построения САПР.

**Тема 12. Виды обеспечения САПР**

Техническое обеспечение САПР. Задачи, классификация и состав средств технического обеспечения. Структурные схемы взаимодействия средств

технического обеспечения. Типовой состав автоматизированных рабочих мест. Одно-, двух- и трехуровневые структуры САПР. Основные типы ЭВМ и периферийного оборудования, используемого в САПР. Режимы и средства взаимодействия пользователя с САПР.

Программное обеспечение САПР. Требования, предъявляемые к программному обеспечению. Состав общесистемного, базового и прикладного программного обеспечения. Основные принципы разработки и анализа прикладного программного обеспечения. Средства разработки и отладки программного обеспечения. Математические основы машинной графики. Представление графической информации в памяти ЭВМ. Модели геометрических объектов. Принципы формирования и преобразования изображения.

Информационное обеспечение САПР. Банки и базы данных в САПР. Системы управления базами данных. Назначение, классификация, разновидности Требования к банкам данных. Специфические особенности банков данных САПР. Языки описания данных и манипулирования данными. Логический и физический уровни представления данных. Модели данных. Иерархические, сетевые и реляционные модели данных. Понятие о базах знаний.

Лингвистическое обеспечение САПР. Классификация языков, применяемых в САПР. Характеристика и выбор языков программирования. Понятие о языках процедурных и непроцедурных. Языки описания заданий и объектов. Особенности графических и сетевых языков моделирования. Диалоговые языки.

Математическое обеспечение САПР. Классификация математического обеспечения САПР. Математическое моделирование в САПР. Классификация математических моделей. Требования к математическим моделям. Особенности математического моделирования на микро-, макро- и метауровнях. Анализ технических объектов. Требования к методам анализа в САПР. Преобразование математических моделей в процессе перехода от исходного описания задачи к рабочей программе анализа.

## Раздел V. Системы автоматизированного проектирования теплотехнических объектов

### Тема 13. Автоматизация расчетных и проектных работ при создании теплотехнических систем

Современное состояние вопроса Автоматизация расчетных и проектных работ при создании теплотехнических систем, описание системы автоматического формирования алгоритмов расчета. Назначение и этапы создания САПР в теплотехнической области. Схема функционирования и возможности САПР теплотехнических объектов. Оптимизация теплотехнических систем.

**Тема 14. Схема создания и организации функционирования САПР теплообменных объектов**

Основные понятия. Классификация структуры теплообменных объектов. Автоматизация расчетов теплообменного оборудования. Технология проектирования теплообменного оборудования. Принципы создания, назначение, этапы создания, схема функционирования и возможности систем автоматического расчета теплообменного оборудования.

Программные комплексы для расчета теплообменного оборудования на основе методов конечных разностей и конечных элементов.

**Информационно-методическое обеспечение**

**Примерный перечень тем лабораторных работ**

1. Основные понятия и принципы работы системы AutoCAD. Настройка системной среды AutoCAD
2. Графические примитивы AutoCAD
3.Средства формирования чертежей
4. Редактирование чертежей в AutoCAD
5. Нанесение и редактирование штриховки. Создание размерного стиля Нанесение и редактирование размеров.
6. Примитивы трехмерной графики. Слои.
7. Блоки и их атрибуты. Управление изображением.
8. Редактирование сложных чертежей.
9. Формирование информационного обеспечения САПР теплотехнических объектов.

10. Моделирование технических объектов на микроуровне.

11. Анализ режимов работы теплообменных аппаратов.

**Примерное содержание курсового проектирования**

Целью курсового проектирования является приобретения студентами практических навыков в проведении конструкторских расчетов и оформлении конструкторской документации элементов теплотехнического оборудования.

Примерные темы курсовых проектов:

"Разработка конструктива воздушного рекуператора пламенной печи",

"Разработка конструктива блочно-модульной горелки водогрейного котла", "Разработка проекта участка тепловой сети из предизолированных труб", "Разработка конвективной части жаротрубного котла".

**Примерный состав пояснительной записки курсового проекта**

Введение

1 Классификация и описания конструкций конструируемого элемента теплотехнической установки

2 Разработка алгоритм расчета конструируемого элемента

3 Расчет основных конструктивных параметров конструируемого элемента

4 Разработка конструкторской документации и технических условий на изготовление конструируемого элемента

5 Разработка алгоритма расчета режимов функционирования конструируемого элемента

6 Численный анализ режимов функционирования конструируемого элемента

Заключение.

**ПЕРЕЧЕНЬ контрольных вопросов к зачету по дисциплине "Основы конструирования и САПР"**

1. Перечислите элементы науки о инженерном творчестве.

2. Что понимают под методологией проектирования и конструирования?

3. Что понимают под техническим объектом?

4. Дайте формулировку технической системе.

5. Что является объектом проектирования?

6. Что является объектом конструирования?

7. Что такое комплекс технических объектов?

8. Роль технических объектов в окружающем нас мире.

9. Условия создания и действия технического объекта.

10. Существенные особенности технического объекта.

11. Иерархия описания технических объектов.

12. Описание технического объекта на уровне потребности.

13. Описание технического объекта на уровне технической функции.

14. Описание технического объекта на уровне функциональной структуры.

15. Описание технического объекта на уровне физического принципа действия.

16. Описание технического объекта на уровне технического решения.

17. Описание технического объекта на уровне проекта.

18. Жизненный цикл технического объекта.

19. Систематика задач поиска и выбора проектно-конструкторских решений.

20. Решение какого уровня задач поиска и выбора технических решений дает максимальный эффект?

21. Иерархия списка требований, которым должен удовлетворять технический объект.

22. Перечень требований к техническому объекту на уровне потребности.

23. Перечень требований к техническому объекту на уровне физической операции (технической функции).

24. Перечень требований к техническому объекту на уровне функциональной структуры.

25. Перечень требований к техническому объекту на уровне физического принципа действия.

26. Перечень требований к техническому объекту на уровне технического решения.

27. Перечень требований к техническому объекту на уровне проекта.

28. Основные группы критериев качества (развития) технических объектов.

29. Что такое критерий качества (развития) технического объекта?

30. Требования, предъявляемые к критериям развития технических объектов.

32. Функциональные критерии развития технических объектов.

33. Технологические критерии развития технических объектов.

34. Экономические критерии развития технических объектов.

35. Антропологические критерии развития технических объектов.

36. Энергетические критерии развития технических объектов.

37. Конструктивная эволюция технического объекта.

38. Решение каких целей позволяет достичь знание конструктивной эволюции технического объекта или класса технических объектов?

39. Закон прогрессивной эволюции техники (графическая иллюстрация и математическая интерпретация).

40. На какие вопросы позволяет ответить закон прогрессивной эволюции?

41. Гипотеза о законе прогрессивной эволюции технических объектов.

42. Что понимают под научно-техническим уровнем и социально-экономической целесообразностью как условиям перехода технического объекта от одного уровня развития к другому?

43. Главная суть закона соответствия между функцией и структурой технического объекта.

44. Закономерность функционального построения обрабатывающих (технологических) машин.

45. Закономерность функционального построения преобразователей энергии и информации.

46. Методика применения закона соответствия между функцией и структурой технического объекта для анализа функциональной структуры разрабатываемого технического объекта в целях поиска более эффективных конструкторско-технологических решений.

47. Закон стадийного развития техники.

48. Методы инженерного творчества. Методы мозговой атаки. Метод эвристических приемов.

49. Определение САПР, история развития, целесообразность применения, современное состояние применения.

50. Классификация САПР. Связь САПР с другим АС. Требования к развитию САПР.

51. Технологическое построение процесса проектирования. Типовые проектные процедуры.

52. Понятие о процедурах структурного синтеза, параметрической оптимизации, одновариантного и многовариантного анализа и верификации.

53. Комплекс средств автоматизированного проектирования. Основные компоненты САПР.

54. Подсистемы САПР: информационная подсистема, подсистема поиска решений технических задач, подсистема инженерного анализа, подсистема ведения и изготовления документации.

55. Техническое обеспечение САПР. Задачи ТО САПР. Классификация и состав средств ТО САПР. Структурные схемы взаимодействия средств ТО САПР.

56. Программное обеспечение САПР. Требования, предъявляемые к программному обеспечению САПР.

57. Информационное обеспечение САПР. Банки и базы данных в САПР. Системы управления базами данных. Назначение, классификация, разновидности

58. Лингвистическое обеспечение САПР. Классификация языков, применяемых в САПР. Характеристика и выбор языков программирования.

59. Математическое обеспечение САПР. Классификация МО САПР. Математическое моделирование в САПР. Классификация математических моделей.

60. Системы автоматизированного проектирования теплотехнических объектов.