

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Факультет механизации

Кафедра процессы и машины в агробизнесе

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХ-
НИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АПК

Краснодар
КубГАУ
2019

Р е ц е н з е н т:

Е. В. Труфляк – д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой эксплуатации машинотракторного парка
(Кубанский государственный аграрный университет)

Лабораторный практикум «Системы автоматизированного проектирования технических средств АПК»:

практикум / сост. А. И. Тлишев, А. В. Огняник – Краснодар :
КубГАУ, 2019. – 134 с.

Цель издания – оказать помощь преподавателям и студентам в проведении практических (лабораторных) занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования технических средств АПК». Практикум является приложением к учебному пособию дисциплины. Рассмотрены базовые функции программного комплекса АРМ Win-Machine, содержит индивидуальные практические задания и упражнения, способствующие усвоению теоретических знаний, что позволит студентам решать большой круг практических задач при выполнении курсовых и выпускной работе.

Лабораторный практикум «Системы автоматизированного проектирования технических средств АПК»

предназначен для студентов, специальности

23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»

программа специалитета

Рассмотрено и одобрено методической комиссией факультета механизации, протокол № 4 от 26.11.2019 г.

Председатель методической комиссии

В. Ю. Фролов

© Тлишев А. И.,
Огняник А. В., 2019
© ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И. Т. Трубилина», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Основные понятия.....	5
Лабораторная работа № 1. Создание параметрической модели в редакторе APM Graph.....	8
Контрольная работа № 1. Создание параметрической модели фланца в редакторе APM Graph.....	17
Лабораторная работа № 2. Прочностной расчет оболочечной модели кронштейна, построенной с использованием редактора APM Studio.....	20
Контрольная работа № 2. Прочностной расчет кронштейна, созданного в модуле APM Studio.....	36
Лабораторная работа № 3. Прочностной расчет твердотельной модели опоры подшипника скольжения, построенной с использованием редактора APM Studio.....	38
Контрольная работа № 3. Выполнение статического расчёта головки торцевого ключа построенного с использованием редактора APM Studio.....	55
Лабораторная работа № 4. Расчет спиральной пружины работающей на сжатия в модуле APM Spring.....	58
Контрольная работа № 4. Выполнить проектировочный и проверочный расчеты пружин.....	65
Лабораторная работа № 5. Расчет кулачкового механизма с поступательным роликовым толкателем в модуле APM Cam.....	73
Контрольная работа № 5. Расчета кулачковых механизмов в модуле APM Cam.....	86
Лабораторная работа № 6. Расчет подшипника скольжения жидкостного трения в модуле APM Plane.....	88
Контрольная работа № 6. Проектировочный расчет радиальных подшипников жидкостного и полужидкостного трения, упорного подшипника в модуле APM Plain	93
Лабораторная работа № 7. Расчет шарико-винтовой передачи с преднатягом в модуле APM Screw.....	98
Контрольная работа № 7. Расчёт передачи скольжения, шарико-винтовой передачи с преднатягом, шарико-винтовой передачи и планетарной передачи в модуле APM Screw.....	105
Лабораторная работа № 8. Расчёт балочного элемента конструкций в модуле APM Structure 3D.....	111
Контрольная работа № 8. Расчёт балочных элементов конструкций в модуле APM Structure 3D.....	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	133

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях формирование и закрепление инженерных знаний обучающихся, проведение научно-исследовательской работы и оценки уровня подготовки необходимо проводить с использованием информационных технологий.

Для формирования и приобретения практических навыков закрепления и углубления теоретических знаний по дисциплине «Компьютерное конструирование» учебным планом предусмотрены лабораторные занятия непосредственно за персональным компьютером, проводимые после усвоения теоретического материала. В процессе освоения методик решения задач с использованием программного комплекса АРМ WinMachine, студенты выполняют самостоятельно расчетные работы, в различных модулях комплекса.

АРМ WinMachine является базовым программным комплексом системы автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства. Инструментально-экспертная система автоматизированного расчета и проектирования в машиностроении АРМ WinMachine представляет собой энциклопедию по машиностроению, включающую инструменты и программы для автоматизированного расчета и проектирования деталей машин, механизмов, элементов конструкций и узлов. Кроме этого, она имеет современные графические средства, встроенные базы данных, необходимую информационную базу знаний, разветвленную систему подсказок и электронный учебник по основам проектирования машин. Работает совместно с универсальным графическим редактором Auto CAD (США) и с отечественным графическим редактором КОМПАС. Также возможно использование собственного модуля графического редактора.

Практикум составлен согласно программе курса "Компьютерное конструирование" для студентов специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» программа специалитета.

Практикум выдается каждому студенту на лабораторных занятиях, пользуясь которым они решают задачи, приведенный в каждом разделе в качестве примера. В процессе выполнения расчета студент осваивает интерфейс модуля и методику задания исходных данных для расчета. После решения ознакомительного примера и получения верного результата, студент приступает к выполнению самостоятельной работы. Исходные данные для самостоятельной работы приведены в конце каждого раздела.

У обучающегося после освоения дисциплины «Компьютерное конструирование» формируется комплекс знаний об организационных, научных и методических основах компьютерного конструирования, методов и средств расчетных программ, а также современных системах автоматизированного проектирования – АРМ WinMachine при разработке элементов конструкций деталей, узлов, машин и оборудования, и их исследовании.

1 Основные понятия

Система APM WinMachine – содержит современные, эффективные и надежные алгоритмы и программы для расчета:

- энергетических и кинематических параметров;
- прочности, жесткости и устойчивости;
- выносливости при переменных режимах нагружения;
- вероятности, надежности и износостойкости;
- кинематических и динамических характеристик.

CAD/CAE/CAM/CAPP/PDM – пакеты программ для сквозной конструкторско-технологической подготовки и организации автоматизированного производства.

CAD – САПР-программы для черчения 2D и пространственного моделирования 3D;

CAE – расчетные инженерные программы;

CAM – модули подготовки программ для станков с ЧПУ;

CAPP – САПР для технологической подготовки производства и технического нормирования;

PDM – программа электронного документооборота и управления проектами DOCs.

APM graph – двумерный графический редактор, который можно использовать для оформления графической части конструкторской документации в различных областях техники, науки, в архитектуре и строительстве. Модуль имеет стандартный набор инструментов для оформления чертежей, а также инструменты параметризации объектов и расчетов размерных цепей.

APM studio – модуль моделирования и импорта (поддерживается импорт из формата step) трехмерных поверхностных и твердотельных моделей с инструментами указания опор и приложения различных нагрузок и встроенным генератором разбиения на конечно-элементную сетку. Основное назначение модуля — подготовка смоделированной или импортированной геометрии к конечно-элементному анализу в модуле APM structure 3d. Конечно-элементный анализ

APM spring – модуль проектирования упругих элементов машин. С помощью модуля можно производить проектировочные и проверочные расчеты, а также расчеты по ГОСТ 13765-86 и получать чертежи рассчитанных деталей. Под проектировочным расчетом понимают определение геометрических размеров упругих элементов по известным значениям внешних сил и деформаций. Проверочный расчет позволяет определить запасы прочности упругих элементов в зависимости от их геометрических размеров. При выборе расчета по ГОСТ 13765-86 программа выбирает по заложенной методике несколько вариантов стандартных пружин, соответствующих исходным данным.

В модуле **APM spring** предусмотрено проектирование следующих типов упругих элементов машин:

- цилиндрические пружины растяжения круглого и прямоугольного поперечных сечений;
- цилиндрические пружины сжатия круглого и прямоугольного поперечных сечений;
- цилиндрические пружины кручения круглого и прямоугольного поперечных сечений;
- тарельчатые пружины сжатия;
- плоские прямоугольные пружины;
- торсионы;
- рессорные пружины.

APM cam – модуль проектирования кулачковых механизмов. Модуль рассчитывает профиль кулачка, определяет законы изменения углов давления по углу поворота кулачка, анимирует работу механизма и генерирует рабочий чертеж кулачка. Модуль позволяет также выполнить весь комплекс необходимых проверочных расчетов кулачковых механизмов.

APM plain – модуль проектирования и расчета подшипников скольжения. С помощью этого модуля можно рассчитать основные характеристики подшипников и выбрать оптимальные конструкции подшипниковых узлов.

APM plain позволяет рассчитать подшипники следующих типов:

- радиальные, работающие в режиме жидкостного трения;
- радиальные, работающие в режиме полужидкостного трения;
- упорные (подпятники), работающие в режиме жидкостного трения.

APM screw – модуль проектирования неидеальных винтовых передач.

С помощью **APM screw** могут быть рассчитаны наиболее широко распространенные типы винтовых передач: винтовая передача скольжения, шариковая винтовая передача и планетарная винтовая (роликовая винтовая) передача. Модуль предназначен для комплексного анализа винтовых передач и расчета их основных параметров.

APM structure 3d – модуль для расчета напряженно-деформированного состояния стержневых, пластинчатых, оболочечных и твердотельных конструкций, а также их произвольных комбинаций. **APM structure 3d** организован таким образом, что в его рамках можно рассчитать все многообразие существующих конструкций, собирая их из вышеперечисленных макроэлементов. Конструкции и их элементы могут быть импортированы в редактор конструкций через dxf-формат из 2d и 3D графических редакторов или напрямую через модуль **APM studio** с подготовленной конечно-элементной сеткой и вариантами закрепления и нагружения. Внешняя нагрузка, так же как и условия закрепления конструкции, могут быть произвольными как по характеру, так и по местоположению.

Модуль позволяет решать следующие задачи:

- определение полей эквивалентных напряжений и их составляющих;
- расчет линейных, угловых и результирующих перемещений;
- определение внутренних усилий;
- расчет устойчивости и формы потери устойчивости;
- определение частот собственных колебаний и собственных форм;
- расчет вынужденных колебаний и анимация колебательного процесса по заданной вынуждающей нагрузке, расчет на вибрацию оснований;
- расчет температурных полей и термонапряжений;
- расчет усталостной прочности;
- геометрически нелинейные расчеты;
- автоматический подбор сечений из условий прочности, жесткости, устойчивости для металлоконструкций машиностроительного назначения;
- проектирование узлов металлоконструкций;
- автоматическая генерация номенклатуры элементов, составляющих конструкцию.

Лабораторная работа №1

Создание параметрической модели в редакторе APM Graph

Цель работы: в режиме рисования и создания параметрической модели полосы с отверстиями, представленной на рисунке 1.1 научиться работать с плоским графическим редактором APM Graph.

Используя освоенные навыки и руководствуясь принципами и правилами создания параметрической модели выполнить самостоятельно параметрическую модель фланца, представленного на рисунке 1.9, по исходным данным, представленным в таблице 1.1.

Пример создания параметрической модели

Условие. Создать параметрическую модель полосы с отверстиями, изображенную на рисунке 1.1. Модель полосы должна содержать n отверстий диаметра d , равномерно расположенных по длине полосы; длина l и ширина полосы b зависят от количества отверстий и их диаметра (см. рисунок 1.1).

Число отверстий n и их диаметр d являются независимыми переменными, а длина l и ширина полосы b – зависимыми.

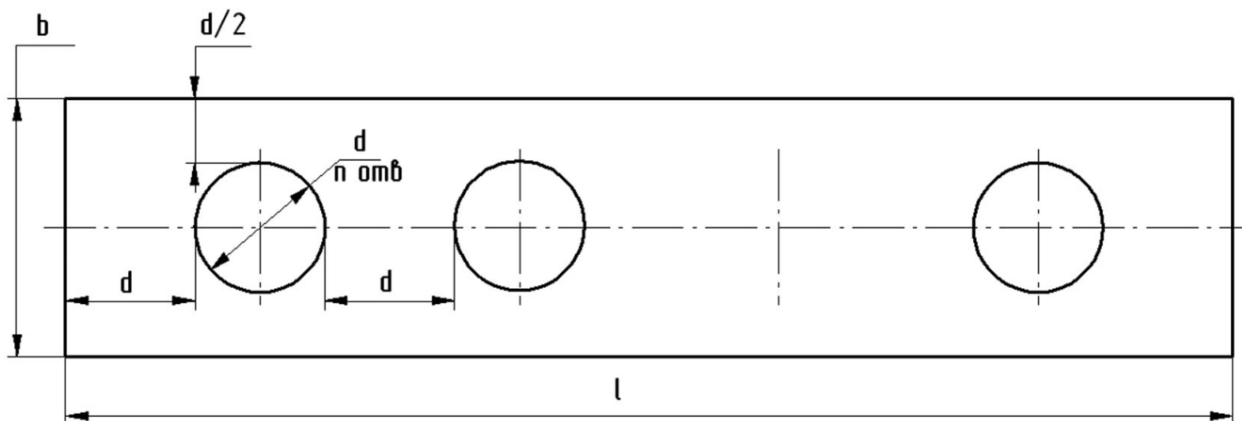


Рисунок 1.1 – Металлическая полоса с отверстиями

Алгоритм создания модели

1. Составление плана построения модели.
2. Ввод переменных.
3. Графическое задание последовательности команд, ведущих к построению модели, и их параметризация.
4. Проверка корректности работы построенной модели.
5. Задание базовой точки модели.

Создание параметрической модели по заданному условию

При создании параметрической модели рекомендуется придерживаться определенных правил и последовательности действий, для того чтобы

достигнуть желаемого результата с наименьшей затратой усилий. Рассмотрим эти правила с краткими пояснениями.

Заранее продумайте порядок создания конкретной модели. Все команды, которые использовались при создании модели, документируются, следовательно, если какой-либо объект был создан ошибочно и затем удален, то все относящиеся к этому процессу команды тем не менее войдут в список команд. Очевидно, что модель в этом случае получится явно не оптимальной.

В качестве начальной точки при создании модели желательно использовать точку с координатами (0, 0). При таком выборе начальной точки выражения, описывающие те или иные параметры объектов, получаются более компактными.

Желательно параметризовать каждую команду сразу же после ее выполнения. Другими словами, сразу же после того, как был создан какой-либо объект параметрической модели, нужно, не создавая другой объект, поставить в соответствие его параметрам выражение, состоящее из переменных. При этом появляется возможность визуально убедиться в том, что объект создан корректно, поскольку если при его создании была допущена ошибка, то это сразу же станет заметно.

Если же создать сразу несколько объектов, а потом приступить к процедуре их параметризации, то найти ошибку будет значительно сложнее так как, придется отслеживать все выполненные шаги.

Исключение из этого правила может быть сделано при последовательном построении цепочки объектов, например, отрезков, у которых начало каждого последующего отрезка совпадает с концом предыдущего. В этом случае дополнительную привязку к контрольным точкам введенного отрезка выполнять не нужно.


План построения модели:

- а) указываем начальную точку – центр первой (левой) окружности, и создаем окружность с центром в начальной точке;
- б) проводим вертикальную осевую линию отверстия;
- в) с помощью четырех отрезков создаем внешний замкнутый прямоугольный контур полосы, начиная с левого верхнего угла;
- г) проводим общую осевую линию симметрии полосы;
- д) создаем прямоугольный массив, состоящий из отверстий.

Ввод переменных

Для перехода в режим создания параметрической модели выбираем в меню **Файл** пункт **Создать модель**.

Вначале вводятся независимые, а затем зависимые переменные. Делается это следующим образом:

Прежде всего, нажимаем на панели инструментов **«Параметризация»** кнопку **«Вызов диалогового окна задания переменных»**  (меню

Параметризация / Переменные...) для вызова диалогового окна «**Переменные**» (рисунок 1.2), поля ввода которого перед началом задания переменных пусты.

После нажатия кнопки «**Добавить**» откроется новое диалоговое окно «**Переменная**». В поля ввода этого диалога записываем характеристики задаваемой переменной.

– В поле ввода «**Переменная**» записываем имя переменной, которое должно начинаться с буквы латинского алфавита и может содержать цифры.

– В поле ввода «**Выражение**» следует записать математическое выражение, которое будет использоваться для вычисления этой переменной. Для независимой переменной это поле ввода остается пустым.

– В поле ввода «**Значение**» задается числовое значение, которое принимает эта переменная. Это поле обязательно к заполнению для любой переменной.

– В поле ввода «**Комментарий**» при необходимости записываются комментарии к данной переменной.

Ввод переменных заканчивается нажатием кнопки «**ОК**».

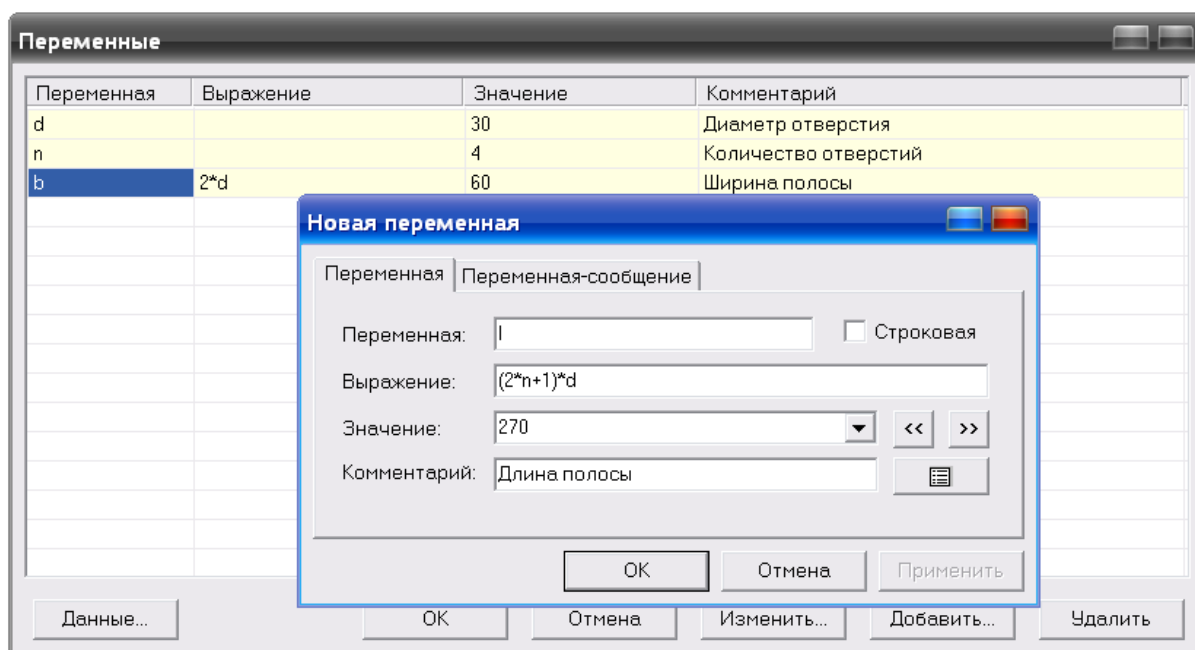




Рисунок 1.2 – Диалоговое окно «Переменные»

Графическое задание последовательности команд, ведущих к построению модели, и их параметризация.

На этом этапе реализуется намеченный выше (п. 1) порядок построения модели.

Создание окружности и ее параметризация. Нажимаем кнопку «**По центру и радиусу**»  на панели инструментов «**Рисование**» (меню **Рисовать / Окружность / Центр и радиус**) и создаем окружность произвольного радиуса в произвольном месте поля чертежа. Затем нажимаем на панели

инструментов «**Параметризация**» кнопку «**Вызов диалогового окна параметрических команд**»  (меню Параметризация / Команды.), вызывая тем самым диалоговое окно «Список параметрических команд» (рисунок 1.3).

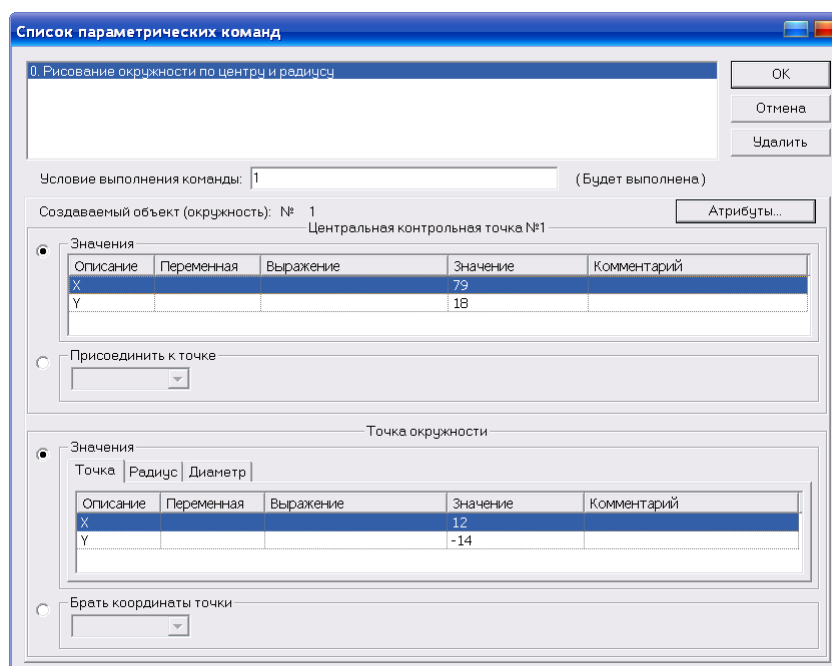


Рисунок 1.3 – Список параметрических команд

В верхней части этого диалога находится список параметрических команд, выполненных пользователем к текущему моменту.

В центральной и нижней частях окна находятся группы параметров *Центральная контрольная точка № 1* и *Точка окружности*. Рассмотрим их более подробно.

При построении окружности по центру и радиусу, как в рассматриваемом случае, первым шагом является определение координат точки центра окружности. С этой целью в группе параметров *Центральная контрольная точка № 1* задаем положение центра окружности, установив переключатель в положение *Значения*. В столбцах таблицы этой группы записаны текущие координаты начальной точки центра окружности.

Если необходимо отредактировать какой-либо параметр, нужно вначале выбрать соответствующую строку однократным щелчком левой кнопки мыши, а затем сделать на ней двойной щелчок левой кнопкой мыши (или нажать клавишу **Enter** или **Пробел** на клавиатуре) и записать нужные значения в поля ввода открывшегося диалогового окна с названием этого параметра (рисунок 1.4).

В том случае, если требуется вычислить рассматриваемый параметр, то необходимо ввести в поле ввода «**Выражение:**» его аналитическое выражение. Если же параметр имеет постоянное значение (как в нашем случае), то это значение нужно записать в поле ввода «**Значение:**», оставив поле ввода

«Выражение:» пустым.

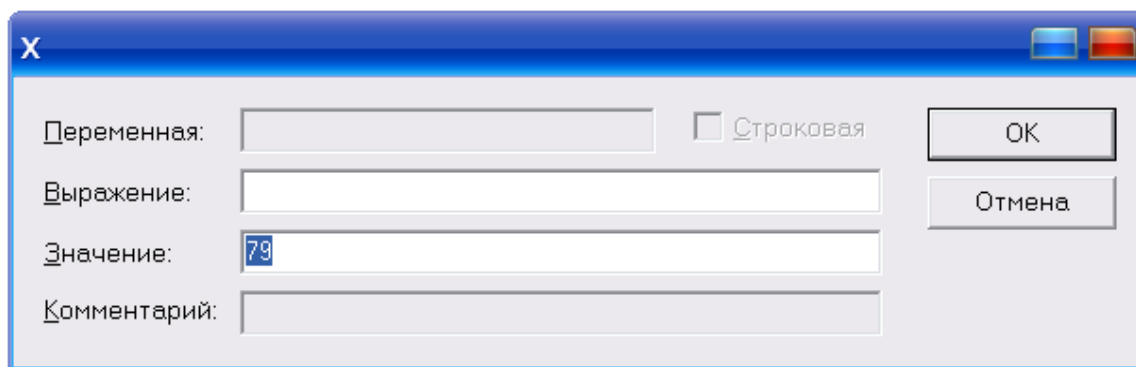


Рисунок 1.4 – Диалоговое окно для ввода параметров переменных

Поле ввода «**Переменная:**» используется для задания дополнительной переменной, которая будет описываться аналитическим выражением, введенным в поле ввода «**Выражение:**». По умолчанию поле ввода «**Переменная:**» неактивно.

Поле ввода «**Комментарий**» соответствует аналогичному полю ввода в окне «**Переменная**» (см. рисунок 1.2) и может либо заполняться, либо оставаться пустым.

В рассматриваемом случае в качестве начальной принята точка с координатами $(0, 0)$, следовательно, текущее значение координаты центра окружности X нужно изменить на нулевое. Аналогично приравниваем нулю и координату Y .


– Переходим к определению значения радиуса окружности. Сделать это можно с помощью группы параметров *Точка окружности* (см. рисунок 1.3). В этой группе параметров есть три вкладки, позволяющие тремя разными способами определить радиус окружности:

- с помощью вкладки «**Точка**» можно задать координаты одной из точек окружности аналогично заданию координат центральной точки окружности;
- на вкладке «**Радиус**» можно в явном виде задать значение радиуса окружности;
- на вкладке «**Диаметр**» можно в явном виде задать значение диаметра окружности.

В рассматриваемом случае, поскольку в качестве переменной выступает значение диаметра окружности d , удобнее воспользоваться вкладкой «**Диаметр**». При этом аналитическое выражение для вычисления параметра будет наиболее простым. Перейдя в эту вкладку, записываем в поле ввода «**Выражение:**» открывшегося диалогового окна «**Диаметр**» значение параметра d , оставляя в поле ввода «**Значение:**» то число, которое там уже имеется.

На этом параметризация создаваемой окружности заканчивается, и после нажатия кнопки «**ОК**» в диалоговом окне «**Список параметрических команд**» (см. рисунок 1.3) эта окружность должна отобразиться в соответствии с введенными параметрами. Если при проведении процедуры параметризации была допущена ошибка, то, скорее всего, она станет заметна при отрисовке.

Вертикальная осевая линия созданной окружности. Это отрисованная линией типа *Осевая* вертикальный отрезок, проходящий через центр окружности и выступающий за ее контур сверху и снизу на 3 мм.

Выбираем режим задания отрезка, нажимаю кнопку «**Через 2 точки**»  на панели инструментов «**Рисование**» (меню **Рисовать / Отрезок / Через 2 точки**) и строим отрезок сверху вниз таким образом, чтобы он был близок к требуемому, а затем приступаем к параметризации этого отрезка.

В диалоговом окне «**Список параметрических команд**» выбираем из списка параметрических команд «*Рисование отрезка через две точки*». Объект чертежа, к которому относится данная команда, выделится малиновым цветом. Это можно увидеть, если диалоговое окно «**Список параметрических команд**» несколько сдвинуть в сторону (рисунок 1.5).

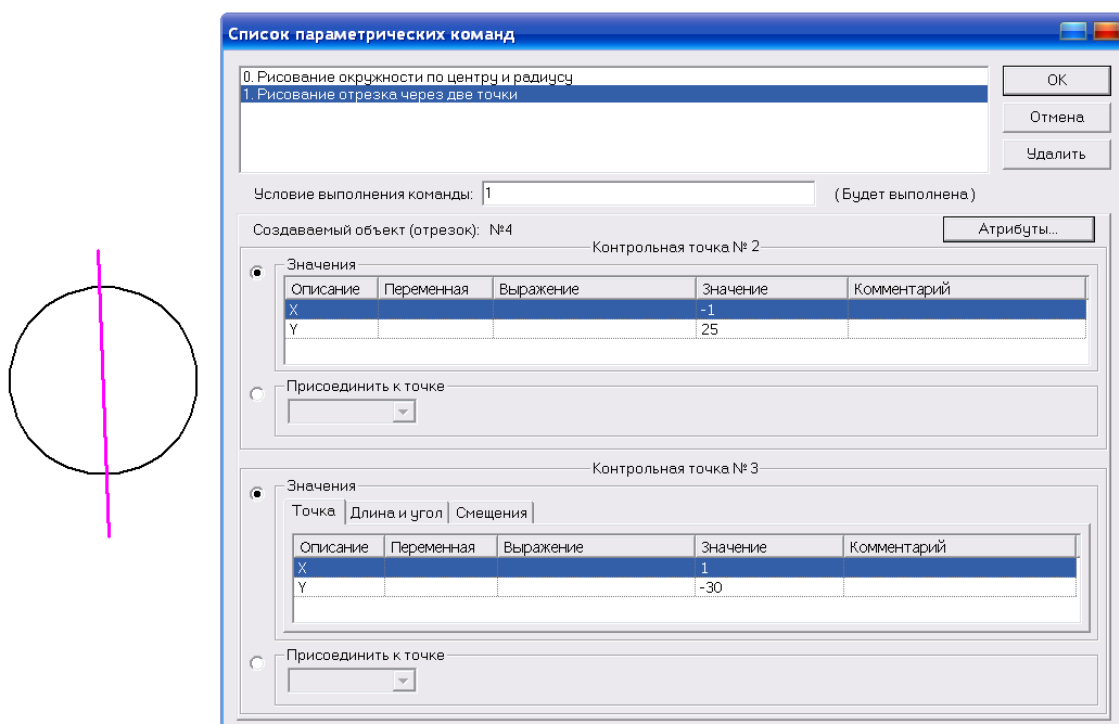


Рисунок 1.5 – Диалоговое окно «Список параметрических команд»

Параметризация введенного отрезка включает в себя:

Изменение типа линии отрезка.

Для этого нужно нажать в поле окна кнопку «**Атрибуты**» и выбрать тип линии *Осевая*. При необходимости можно выбрать другой слой.

Задание координат *Контрольной точки № 2* (верхняя точка) отрезка.

Координаты этой точки, а именно $X = 0$, $Y = d/2 + 3$, задаются относительно начальной точки $(0, 0)$, являющейся центром окружности. Аналитическое выражение (Y) вводим в поле ввода «**Выражение:**», а числовое значение (X) – в поле ввода «**Значение:**»

Задание положения второй *Контрольной точки № 3* (нижней) отрезка. Координаты этой точки удобнее вводить на вкладке «*Длина и угол*». Длина равна $L = d + 6$, а угол $A = 270^\circ$.

Нажав кнопку «ОК» диалогового окна «Список параметрических команд», убеждаемся, что все сделано верно: вертикальная осевая линия окружности должна изобразиться в поле чертежа без ошибок.

Создание внешнего замкнутого прямоугольного контура полосы

Начинаем построение с левого верхнего угла полосы.

Создаем верхний горизонтальный отрезок, определяющий длину полосы. Его, как и отрезок вертикальной осевой линии, нужно строить по двум точкам. Первая (левая) точка имеет координаты $X = -3 \cdot d/2$; $Y = d$. Координаты левой точки отрезка легко можно определить из рисунка 3.1.

Вторую точку отрезка задаем на вкладке «Длина и угол». Длина равна $L = 270$, а угол $A = 0^\circ$.

Затем рядом строим произвольно правый вертикальный отрезок. Он должен присоединяться к концу предыдущего отрезка. Поэтому начальную точку этого отрезка задаем не координатами, а указанием контрольной точки, к которой он будет присоединен. Для этого ставим переключатель в положение *Присоединить к точке* и, нажав стрелку выпадающего списка, выбираем нужную контрольную точку объектов и их расположение на чертеже (рисунок 1.6). Присоединяем начальную точку создаваемого отрезка к контрольной точке № 5.

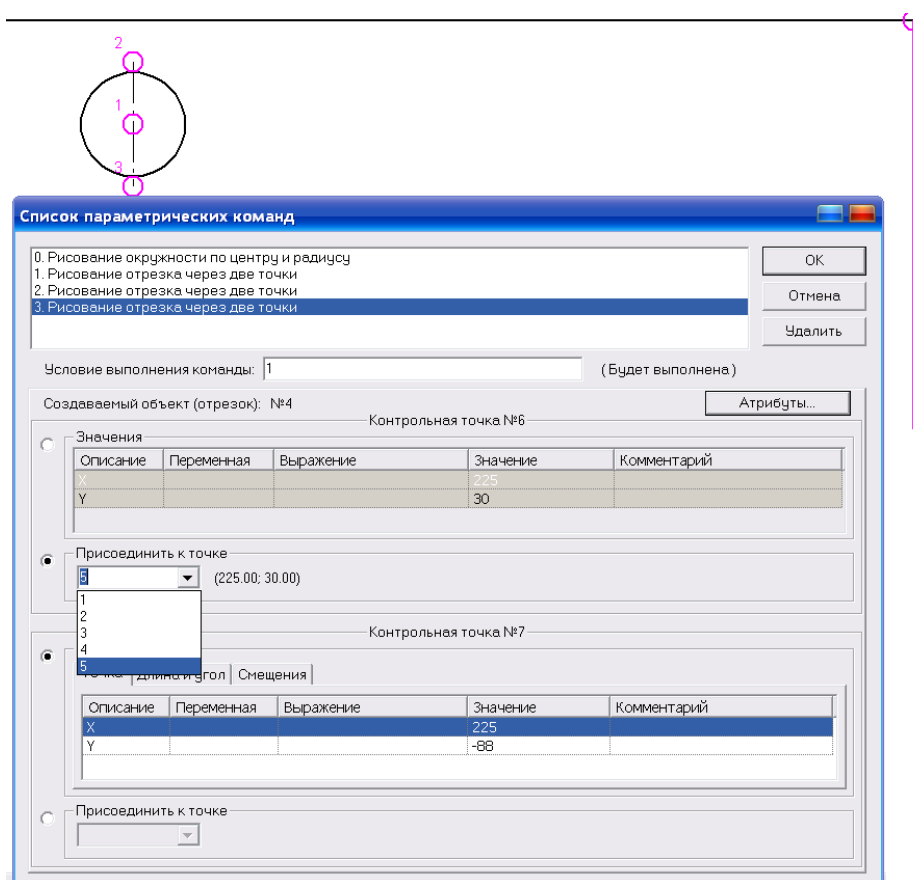


Рисунок 1.6 – Диалоговое окно «Список параметрических команд»

Положение второй точки отрезка задаем по длине и углу. Длина будет равна $L = b$, а угол $A = 270^\circ$.

Два последующих отрезка, замыкающих внешний контур полосы, создаем в один прием, используя привязку к уже имеющимся контрольным точкам других отрезков.

Для параметризации нижнего горизонтального отрезка достаточно задать только его длину ($L = 270$) и угол ($A = 180^\circ$), а последний, левый отрезок уже будет привязан к двум точкам, поэтому в его параметризации нет необходимости. После этих построений на экране монитора должен появиться прямоугольный контур полосы с одним (левым) отверстием.

Построение общей горизонтальной линии симметрии полосы

Эта линия должна быть штрих-пунктирной и выступать за пределы контура полосы и слева и справа на 5 мм.

Создаем такую осевую линию по аналогии с вертикальной осевой линией окружности. Первая (левая) точка имеет координаты $X = -3 \cdot d/2 - 5$, $Y = 0$; длина отрезка равна $L = l + 10$, а угол $A = 0^\circ$.

Затем нажимаем в поле окна кнопку «Атрибуты» и выбираем тип линии *Осевая*. При необходимости можно выбрать другой слой.

Создание прямоугольного массива, состоящего из одной строки и 4 столбцов

При создании любого массива необходимо ввести конкретное число его строк и столбцов, которым после параметризации команды ставится в соответствие какое-либо аналитическое выражение. В рассматриваемом примере массив имеет одну строку, а количество столбцов равно числу отверстий. Пусть полоса содержит четыре отверстия, тогда массив будет состоять из четырех столбцов. Объектами массива, т. е. примитивами, из которых и создаются элементы массива, являются *окружность* и *вертикальная осевая линия*. Базовая точка перемещения – центр окружности с координатами (0, 0) (рисунок 1.7).

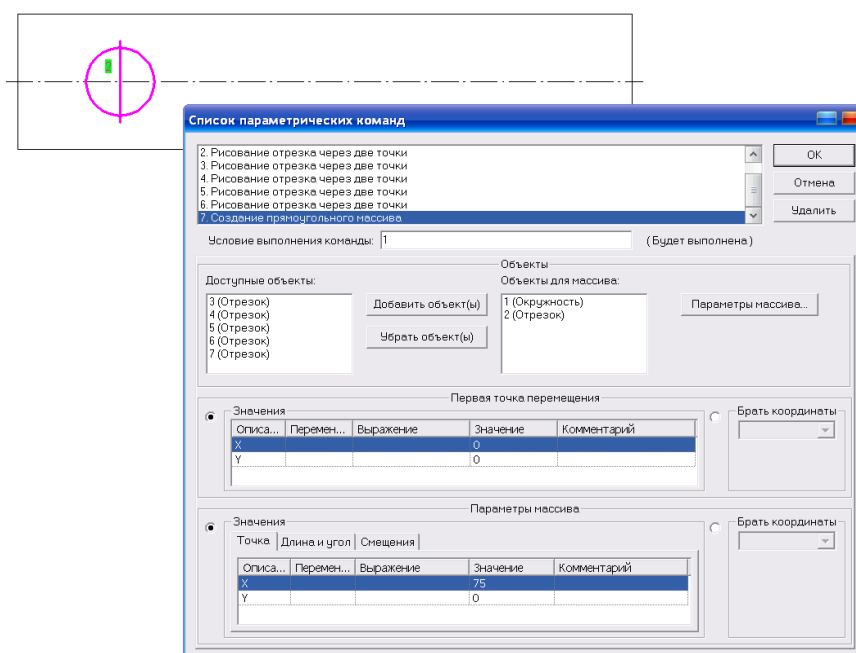


Рисунок 1.7 – Диалоговое окно «Список параметрических команд»

Итак, производим операцию создания прямоугольного массива и приступаем к ее параметризации. При параметризации этой команды имеются некоторые особенности.

Прежде всего, с помощью элементов группы параметров *Объекты* диалогового окна «**Список параметрических команд**» нужно уточнить, из каких именно объектов будет формироваться массив. В списке *Доступные объекты* указываются те объекты модели, которые доступны для создания массива, а в список *Объекты для массива* помешаются те объекты, из которых этот массив формируется.

С помощью кнопок «**Добавить объект(ы)**» и «**Убрать объект(ы)**» можно либо добавлять объекты в создаваемый массив, либо удалять их из массива.

Для ввода числа строк и столбцов нажимаем кнопку «**Параметры массива**» и в поля ввода, открывшегося одноименного диалогового окна вводим число строк и столбцов массива.

В полях группы параметров *Первая точка перемещения* указываются параметры базовой точки перемещения. Можно задать или координаты базовой точки – переключатель находится в положении *Значения*, или выбрать привязку к одной из контрольных точек – переключатель в положении *Брать координаты*.

В полях группы *Параметры массива* нужно указать вторую точку смещения. Сделать это можно, задав ее координаты или длину и угол отрезка (можно также задать смещение по осям координат). В рассматриваемой задаче задаем *смещение* по оси **X**, равное $2 \cdot d$, оставив смещение по **Y** равным нулю.


После выполнения этой команды получаем корректно созданную параметрическую модель.

Проверка корректности работы построенной модели

Для проверки корректности работы построенной модели нужно открыть список всех ее переменных и изменить их (в разумных пределах), проверяя, как созданная параметрическая модель отрабатывает эти изменения. Если при создании модели была допущена ошибка, то ее таким образом легко заметить и исправить, вернувшись к списку параметрических команд.

Задание базовой точки модели

Положение базовой точки определяет удобство последующего встраивания созданной параметрической модели в чертеж, поэтому важно корректно задать эту точку. Если положение базовой точки не задавать, то по умолчанию ее координаты будут равны (0, 0), что не всегда удобно.

Для задания положения базовой точки следует нажать на панели инструментов «**Параметризация**» кнопку «Задание базовой точки параметрической модели»  (меню **Параметризация / Базовая точка...**), после чего откроется диалоговое окно «**Базовая точка**» (рисунок 1.8).

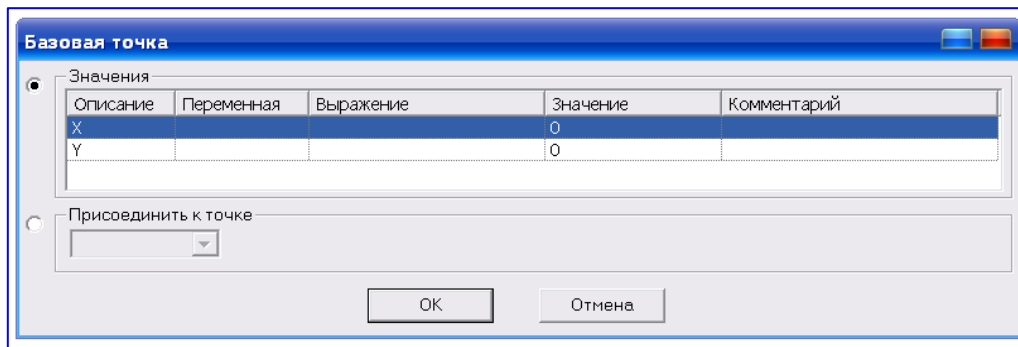


Рисунок 1.8 – Диалоговое окно «Базовая точка»

Положение базовой точки задается значением ее координат, в том числе и аналитическим выражением (переключатель стоит в положении *Значения*), или положением какой-либо контрольной точки модели. В последнем случае переключатель устанавливается в положение *Присоединить к точке*.

На этом процесс создания параметрической модели завершен. Модель следует сохранить, после этого она может быть встроена в чертеж с помощью функции «**Вставка блока**».

Контрольная работа №1

Создание параметрической модели фланца в редакторе APM Graph

1 Создать параметрическую модель фланца представленного на рисунке 1.9 с учетом следующих особенностей:

- Наружный и внутренний диаметры фланца являются независимыми переменными.
- Центры малых окружностей (отверстий), находятся на вспомогательной окружности, которая расположена строго посередине между наружной и внутренней окружностями.
- Количество и диаметр отверстий также являются переменными величинами.

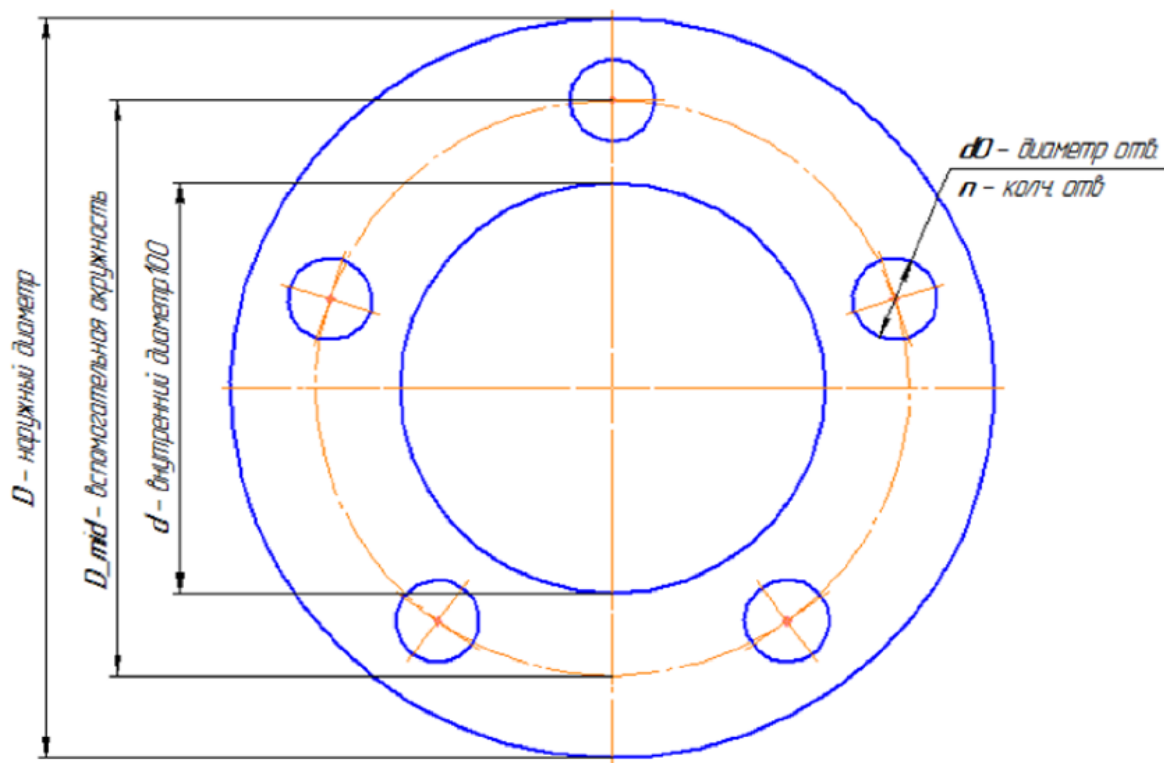


Рисунок 1.9 Фланец

В таблице 1.1 представлены исходные данные для создания параметрической модели фланца, представленного на рисунке 1.9. Принятые на чертеже обозначения параметров соответствуют представленным в заголовке граф таблицы 1.1.

Таблица 1.1 Исходные данные по вариантам для создания параметрической модели фланца

№ варианта	D	D_mid	d	dO	n
1	200	160	120	32	8
2	198	158	118	31	8
3	196	156	116	30	7
4	194	154	114	29	7
5	192	152	112	28	6
6	190	150	110	27	6
7	188	148	108	26	5
8	186	146	106	25	5
9	184	144	104	24	4
10	182	142	102	23	4
11	180	140	100	22	5

№ варианта	D	D_mid	d	dO	n
12	178	138	98	21	5
13	176	136	96	20	4
14	174	134	94	32	4
15	172	132	92	31	6
16	170	130	90	30	6
17	168	128	88	29	4
18	166	126	86	28	4
19	164	124	84	27	4
20	162	122	82	26	4
21	160	120	80	25	4
22	200	160	120	24	8
23	196	156	116	22	8
24	192	152	112	20	8
25	188	148	108	21	7
26	184	144	104	22	7
27	180	140	100	23	6
28	176	136	96	24	6
29	172	132	92	25	5
30	168	128	88	26	5

Лабораторная работа №2

Прочностной расчет оболочечной модели кронштейна, построенной с использованием редактора APM Studio

Цель работы: научиться выполнять расчет параметров оболочечной модели в модуле APM Studio на общем примере и по индивидуальному заданию.

Пример выполнения расчета

Условие: выполнить статический расчет модели кронштейна, изображенной на рисунке 2.1. Пластины фланцев имеют толщину 2 мм, квадратная труба – толщину 1 мм. Материал всех пластин – сталь Ст 3кп. Левый фланец прикреплен к вертикальной опоре с помощью болтов, а на правый действует направленная вертикально вниз распределенная нагрузка величиной 150 Н. Кроме того, следует учесть действие силы тяжести, вызванной наличием собственного веса конструкции.

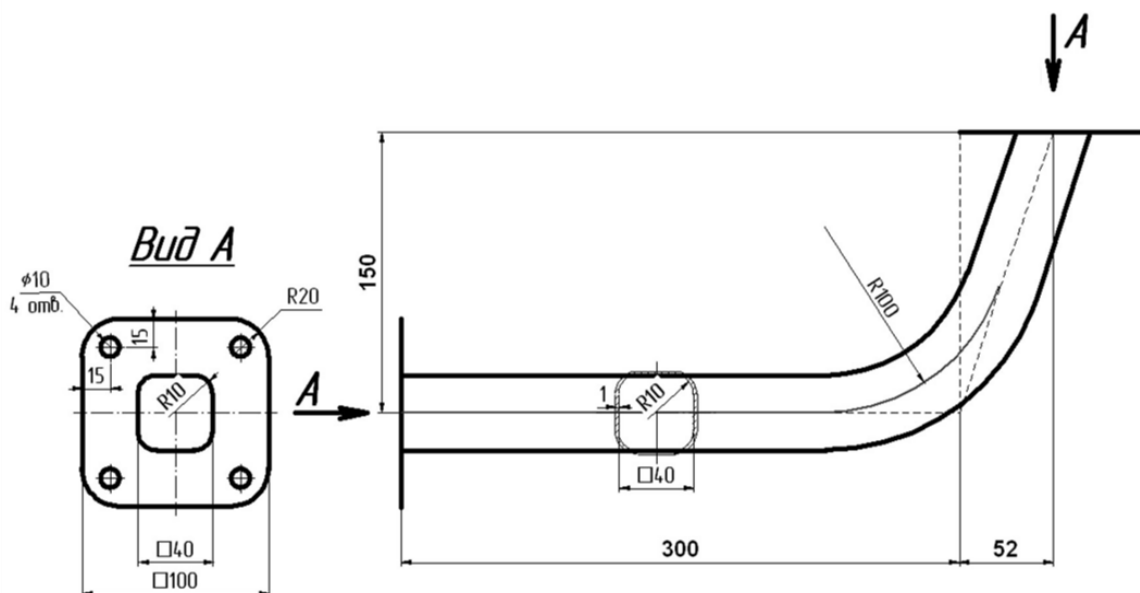



Рисунок 2.1 – Условие для расчета модели кронштейна

Общий порядок выполнения расчета

1. Построение трехмерной поверхностной модели конструкции.
2. Сшивание поверхностей модели.
3. Задание опор (закреплений) модели и приложение нагрузок.
4. Присвоение пластинам толщины и параметров материала.
5. Разбиение поверхностной модели на конечные элементы.
6. Выполнение расчета.

Выполнение расчета оболочечной модели кронштейна (рисунок 2.1)

После запуска модуля APM Studio следует убедиться, что он находится в режиме поверхностного моделирования – режим указан в заголовке открытого окна. Если же в заголовке написано «Твердотельное моделирование», то для перехода в режим поверхностного моделирования необходимо нажать кнопку



«Создать поверхностную модель»  расположенную на панели инструментов «Файл», что вызовет открытие окна с заголовком «Поверхностное моделирование».

Построение трехмерной поверхностной модели конструкции


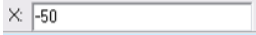
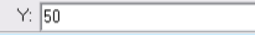
Построение модели проводим по следующему плану:


- а) создание эскиза, содержащего следующие элементы левого фланца:
 - контур фланца;
 - скругления;
 - внутренний квадрат;
 - отверстия;
 - контурную плоскость.
- б) создание эскиза, в котором указывается путь выталкивания внутреннего контура фланца;
- в) выталкивание внутреннего контура фланца по указанному пути;
- д) создание нового эскиза для построения элементов правого фланца. Отрисовка элементов правого фланца и задание контурной плоскости;
- е) пересечение квадратной трубы с поверхностью правого фланца. Удаление лишних поверхностей.

Рассмотрим все этапы построения модели подробно.


Создание эскиза, содержащего элементы левого фланца. Построение эскиза целесообразно организовать таким образом, чтобы ось Z (ось действия силы тяжести) была расположена в вертикальном направлении, что эквивалентно размещению эскиза в плоскости XZ, совпадающей с плоскостью экрана. Для этого в Дереве операций открываем папку «Геометрия», затем нажимаем кнопку «Новый эскиз»  и на инструментальной панели «Управление», подводим курсор к надписи «Плоскость XZ» в Дереве операций и однократно щелкаем на этой надписи левой клавишей мыши. Для того чтобы плоскость эскиза совпадала с плоскостью экрана, нажимаем кнопку «Показать плоскость»  на панели инструментов «Вид».

После этого можно переходить к построению элементов левого фланца.


– Для построения контура фланца можно воспользоваться кнопкой «Прямоугольник по диагональным точкам» , расположенной на панели инструментов «Эскиз». Переводим курсор в рабочее окно редактора. В поля ввода панели инструментов «Ручной ввод» записываем координаты первой точки контура (это левый верхний угол прямоугольника), а именно $X = -50$ и $Y = 50$,  . Щелкаем левой кнопкой мыши, чтобы зафиксировать введенные величины. Далее указываем координаты конечной точки: $L = 100$; $H = -100$. И снова щелчок левой кнопкой мыши.


– **Построение скруглений.** Нажимаем кнопку «Скругление»  на панели инструментов «Эскиз». Затем поочередно щелкаем на скругляемых отрезках (при этом они выделяются зеленоватым цветом). Если установить курсор внутри скругляемого угла, то на экране монитора появится динамический объект – скругление. В поле ввода панели инструментов «Ручной ввод» записываем $R = 20$ и щелкаем левой кнопкой мыши. Аналогичным образом скругляем все остальные углы прямоугольника.


– **Построение внутреннего квадрата** со стороной 40 мм. Его строим так же, как и внешний прямоугольник, а затем скругляем отрезки с радиусом $R = 10$ мм.

– **Построение отверстий.** Чертим окружность, используя команду «Рисовать окружность по центру и радиусу»  Переводим курсор в рабочее окно редактора.


В поле ввода панели инструментов «Ручной ввод» записываем координаты центра левой верхней окружности: $X = -35$; $Y = 35$.

Затем нужно указать радиус окружности, диаметр который по условию равен 10 мм ($R = 5$ мм). Для этого переходим к панели инструментов «Ручной ввод», последовательным нажатием кнопки  добиваемся активизации сле-

дующего режима –  R: 49,4974746831, и в открывшееся поле

ввода записываем с клавиатуры значение 5 (заметим, что нажатием кнопки  можно перейти в режим задания не только величины радиуса, но и диаметра или координаты одной из точек окружности). Далее переводим курсор в рабочее окно редактора и щелкаем левой кнопкой мыши, тем самым фиксируя построенную окружность. Аналогичным образом создаем все остальные окружности.



– **Построение контурной плоскости.** Этой процедурой завершаем создание левого фланца.



Нажимаем кнопку «Контурная плоскость»  на панели инструментов «Операции», после чего открывается одноименное диалоговое окно, в полях которого нужно указать внешний и внутренние контуры, между которыми будет строиться контурная плоскость. Для выделения контура следует щелкнуть на нем левой кнопкой мыши. Вначале выделяем наружный контур, а затем все внутренние (если они есть). Выделенный контур меняет цвет на зеленый.

Создание контурной плоскости завершаем нажатием кнопки «Ок» в диалоговом окне «Контурная плоскость».

Создание эскиза, в котором указывается путь выталкивания внутреннего контура фланца. Вторую эскизную плоскость создадим в плоскости YZ, аналогично тому, как была создана эскизная плоскость в плоскости XZ (см. п. а). Система координат созданной таким образом эскизной плоскости будет располагаться в центре левого фланца. В этом эскизе необходимо задать


путь, по которому будет выталкиваться внутренний контур фланца (квадрат 40 x 40).


– Создаем отрезок длиной 300 мм, используя команду «**Рисовать отрезок**» . Переводим курсор в рабочее окно редактора. На панели инструментов «**Ручной ввод**» вводим первую точку отрезка с координатами $X = 0$ и $Y = 0$. Далее по умолчанию программа предлагает задать конечную точку по длине L и углу A , что в рассматриваемом случае нас не устраивает. Поэтому последовательным нажатием кнопки , расположенной на панели инструментов «**Ручной ввод**», переходим в режим задания координат и записываем координаты конечной точки $X = 300$, $Y = 0$.

– Создаем второй отрезок, проекции которого на оси X и Y равны соответственно 52 мм и 150 мм. Для создания этого отрезка используем команду «**Рисовать отрезок**» . Переводим курсор в рабочее окно редактора и привязываемся к последней точке созданного ранее отрезка. Последовательным нажатием кнопки , расположенной на панели инструментов «**Ручной ввод**», добиваемся активизации следующего режима –


dX: 52	dY: -150
--------	----------

, после чего вводим с клавиатуры значения $dX = 52$ и $dY = -150$.

– Производим скругление созданных отрезков с радиусом 100 мм. Нажимаем кнопку «**Скругление**»  на панели инструментов «**Эскиз**». Затем щелкаем сначала на одном из скругляемых отрезков (при этом он выделится зеленоватым цветом), а затем на другом. После того как курсор попадет внутрь скругляемого угла, появится динамический объект – скругление. На панели инструментов «**Ручной ввод**» вводим $R = 100$ и щелкаем левой кнопкой мыши.

– Последний из созданных отрезков необходимо продолжить, для того чтобы обеспечить возможность пересечения созданной квадратной трубы с поверхностью правого фланца. С этой целью удлиняем последний отрезок, например, на 50 мм. Делается это следующим образом. Вначале выбираем из группы кнопок «**Привязки**», расположенных на панели инструментов «**Эскиз**», кнопку «**Параллельная прямая**»  и нажимаем ее. Затем начинаем строить новый отрезок, привязываясь к последней точке последнего отрезка, и, смещая его, добиваемся параллельности с предыдущим отрезком. Базовый отрезок при этом приобретает красный цвет. Наконец, на панели инструментов «**Ручной ввод**» задаем длину нового отрезка, $L = 50$, а значение угла оставляем без изменения. Таким образом, путь для выталкивания внутреннего контура фланца создан (рисунок 2.2).

Перед выбором внутреннего контура, для выполнения операции выталкивания, данный вид необходимо повернуть в пространстве. Команда **Поворот**

вида  расположена на панели инструментов Вид. Выбрав данную команду, можно поворачивать в пространстве тот или иной вид. При выборе этой команды в рабочем окне появляется окружность с отрезками в квадрантах – инструментом трехмерного вращения. Если курсор мыши при вращении находится вне окружности, то происходит вращение вида в плоскости экрана вокруг центра рабочего окна. Если курсор мыши при вращении находится внутри окружности, то происходит вращение вида вокруг трех осей глобальной системы координат. Данная команда может быть активирована также при нажатии на клавишу ПРОБЕЛ или CTRL.

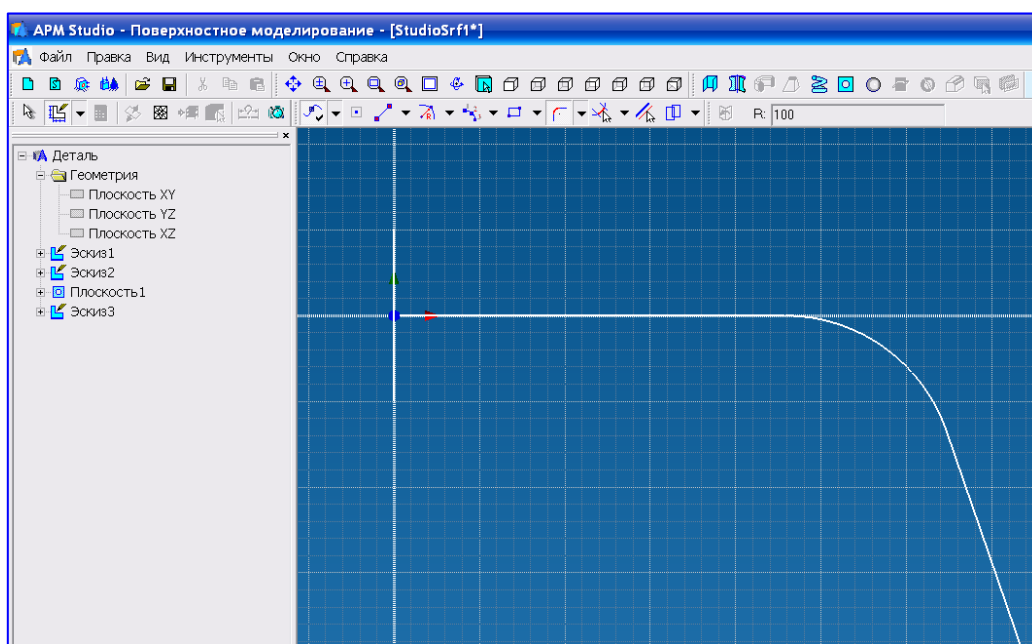





Рисунок 2.2 – Путь выталкивания внутреннего контура

Вращая вид, с помощью команды Поворот вида , необходимо создать условие, при котором внутренний контур выталкивания будет доступен для выделения (рисунок 2.3 а).

Выталкивание внутреннего контура фланца по указанному пути. Для выполнения этой операции следует выйти из всех эскизов, отключив на инструментальной панели «Управление» кнопку «Новый эскиз» . Затем необходимо нажать кнопку «Выталкивание по пути» , расположенную на инструментальной панели «Операции», что вызовет открытие диалогового окна «Выталкивание по пути» (рисунок 2.3 а).

С помощью этого окна предлагается сначала выбрать контур для выталкивания (щелчком левой кнопки мыши) (рисунок 2.3 а), а затем указать путь выталкивания (рисунок 2.3 б). Для выполнения операции выталкивания следует нажать кнопку «Ок» в диалоговом окне «Выталкивание по пути», после чего, фланец с квадратной трубой примут вид, показанный на рисунке 2.4.

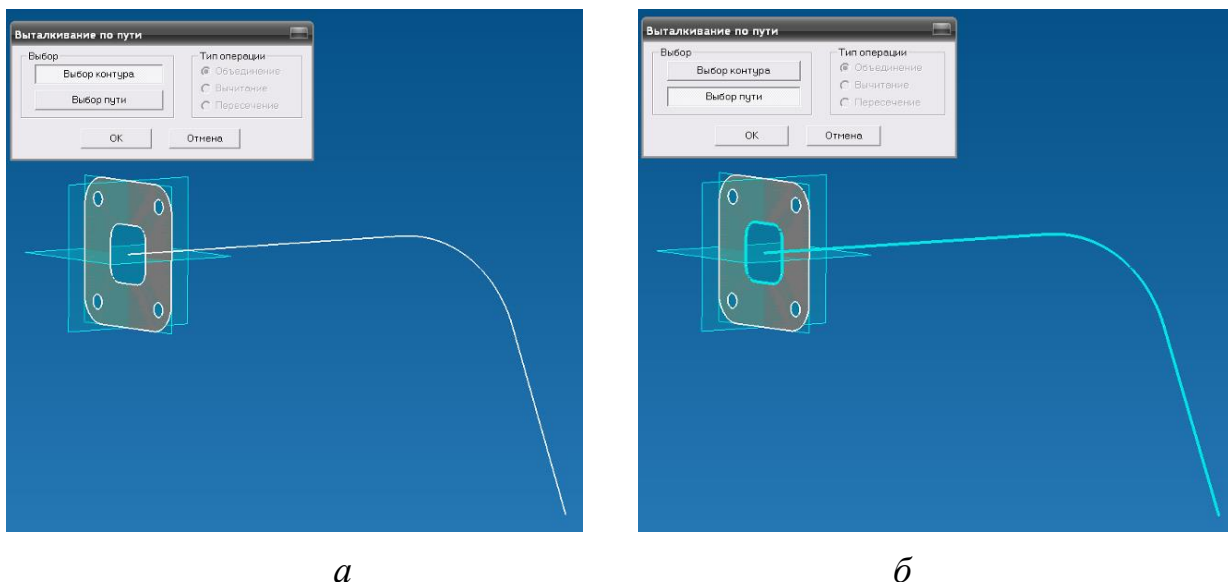


Рисунок 2.3 – Выбор внутреннего контура фланца и пути выдавливания для выполнения операции «Выталкивание по пути»

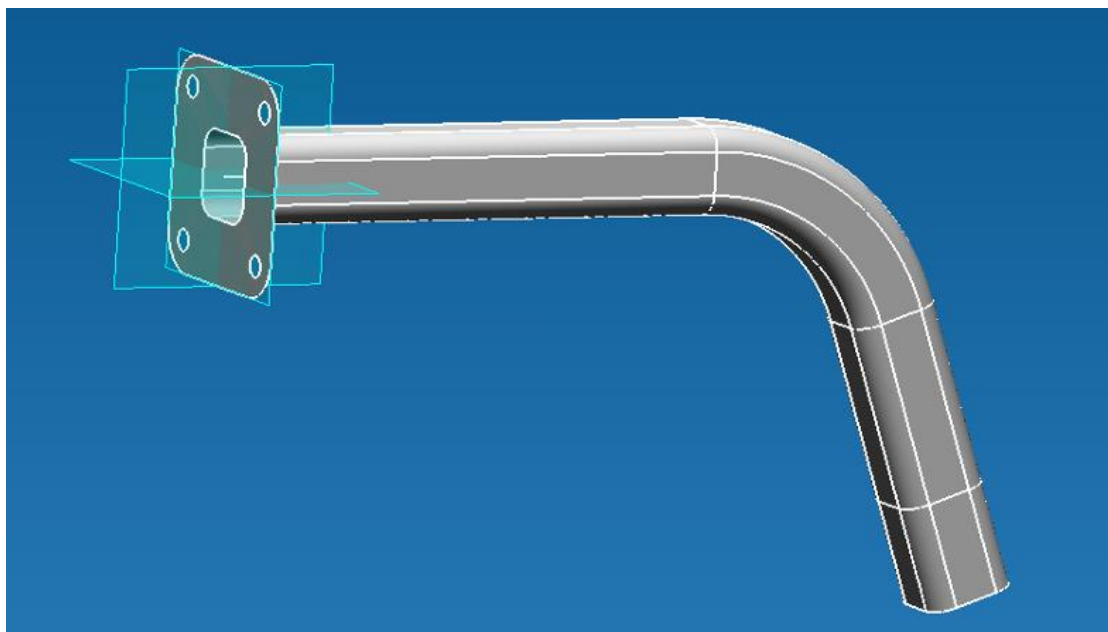



Рисунок 2.4 – Внешний вид левого фланца с квадратной трубой

**Создание нового эскиза для построения элементов правого фланца.
Отрисовка элементов правого фланца и задание контурной плоскости**

– Новый эскиз необходимо создать на расстоянии 150 мм от базовой плоскости XY. Нажимаем кнопку «Новый эскиз» , расположенную на инструментальной панели «Управление», а затем, нажав левую кнопку мыши на базовой плоскости XY и не отпуская ее, смещаем курсор в направлении оси Z (рисунок 2.5). В поле ручного ввода вводим расстояние $D = 150$. Щелчком левой кнопки мыши завершаем создание нового эскиза (рисунок 2.6).

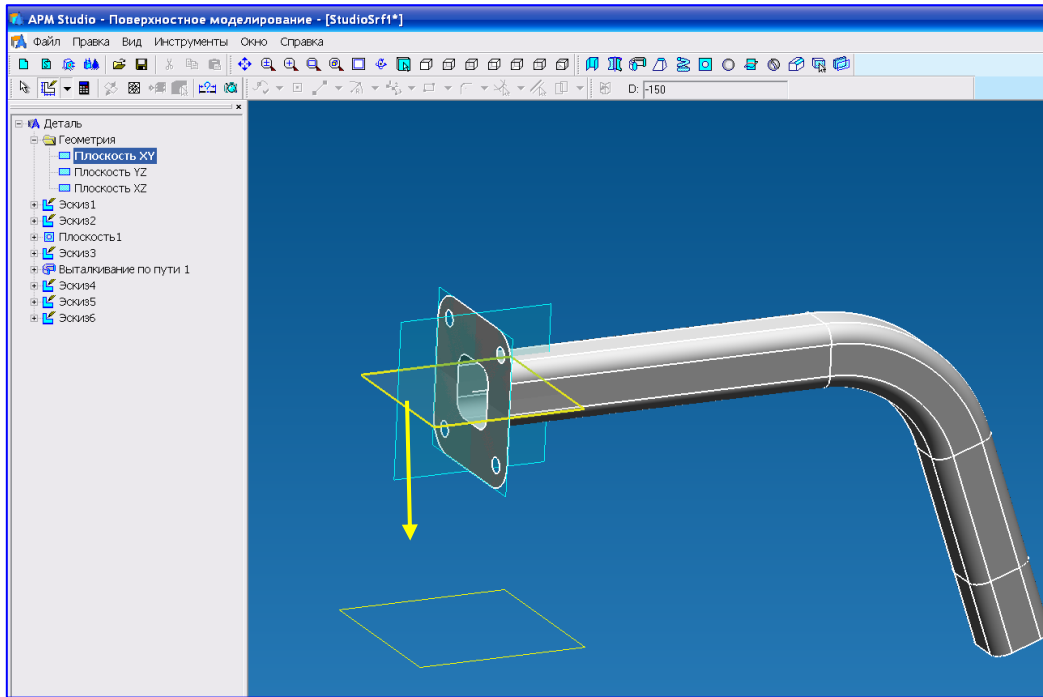


Рисунок 2.5 – Смещение базовой плоскости в направлении оси Z

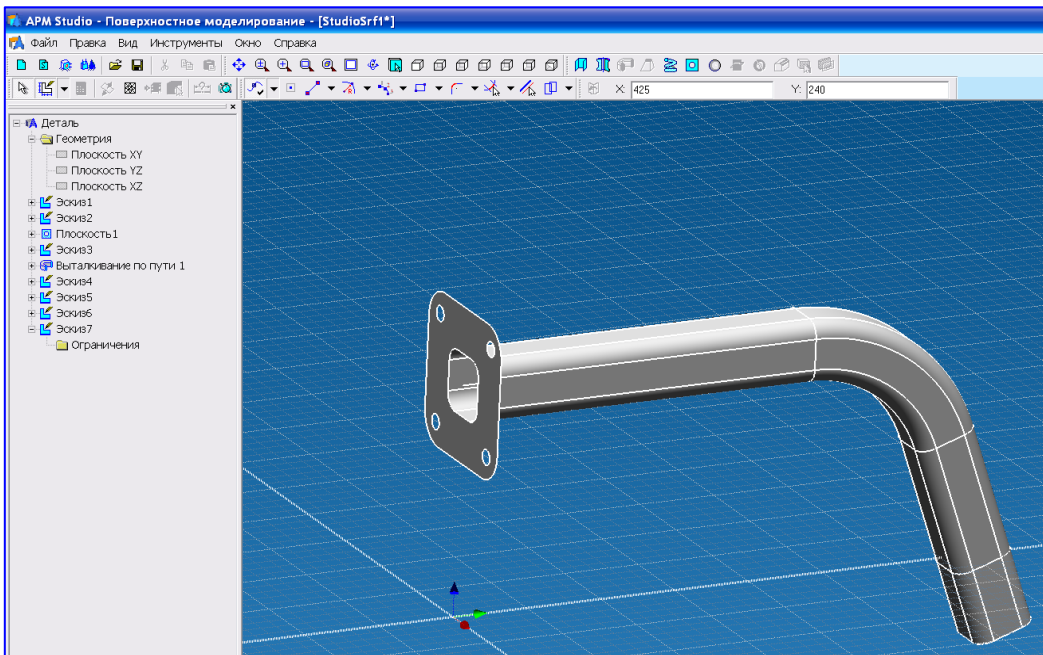



Рисунок 2.6 – Создание нового эскиза на расстоянии 150 мм от базовой плоскости XY

Для того чтобы плоскость эскиза совпадала с плоскостью экрана, нажимаем кнопку «Показать плоскость»  на панели инструментов «Вид» (рисунок 2.7).

После этого можно переходить к построению элементов правого фланца.

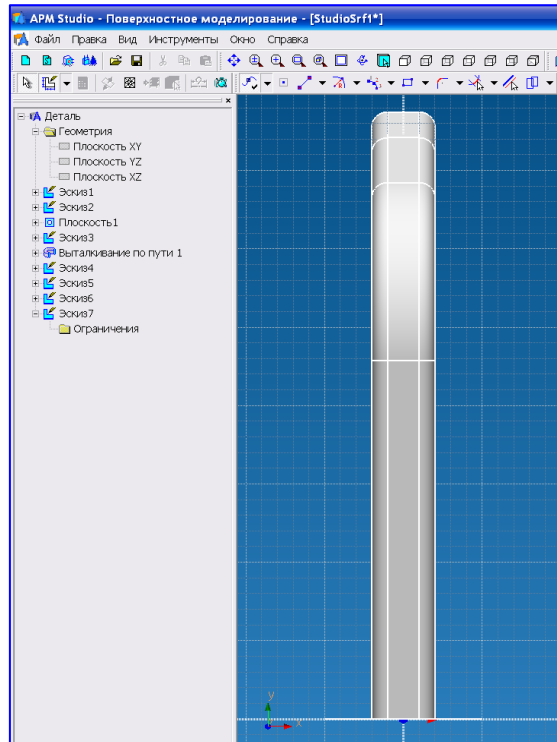



Рисунок 2.7 – Плоскость эскиза для построения элементов правого фланца

– В полученном эскизе создаем элементы правого фланца. Наружный контур удобно строить в виде правильного четырехугольника в режиме «по стороне». Для этого нажимаем кнопку «Полигон»  (панель инструментов «Эскиз») (рисунок 2.8) и заполняем поля ввода открывшегося окна «Многоугольник»: «Число вершин» – 4 и «Тип создания» – по стороне.

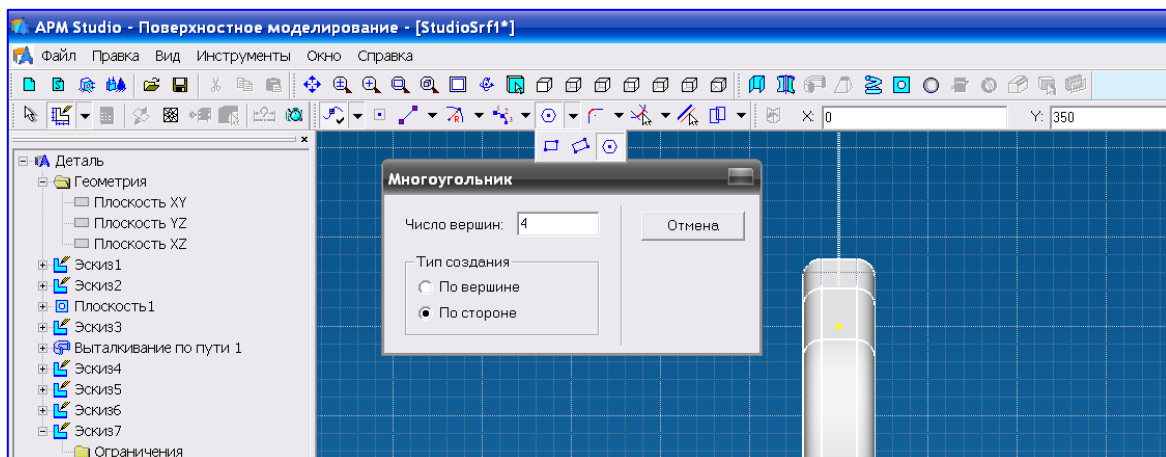


Рисунок 2.8 – Вызов окна «Многоугольник» и задание числа вершин и типа создания

Следующий шаг. На панели инструментов «Ручной ввод» задаем вначале координаты $X = 0$, $Y = 352$, а затем, смещая курсор, записываем $L = 50$, $A = 0$. На этом создание наружного контура правого фланца заканчивается. Далее требуется изобразить отверстия и выполнить скругление углов, как у левого фланца. Внутренний контур не создаем: он будет автоматически получен в

результате пересечения вытолкнутого отрезка квадратной трубы с плоскостью правого фланца.

– Создаем контурную плоскость по аналогии с тем, как это было проделано для левого фланца.

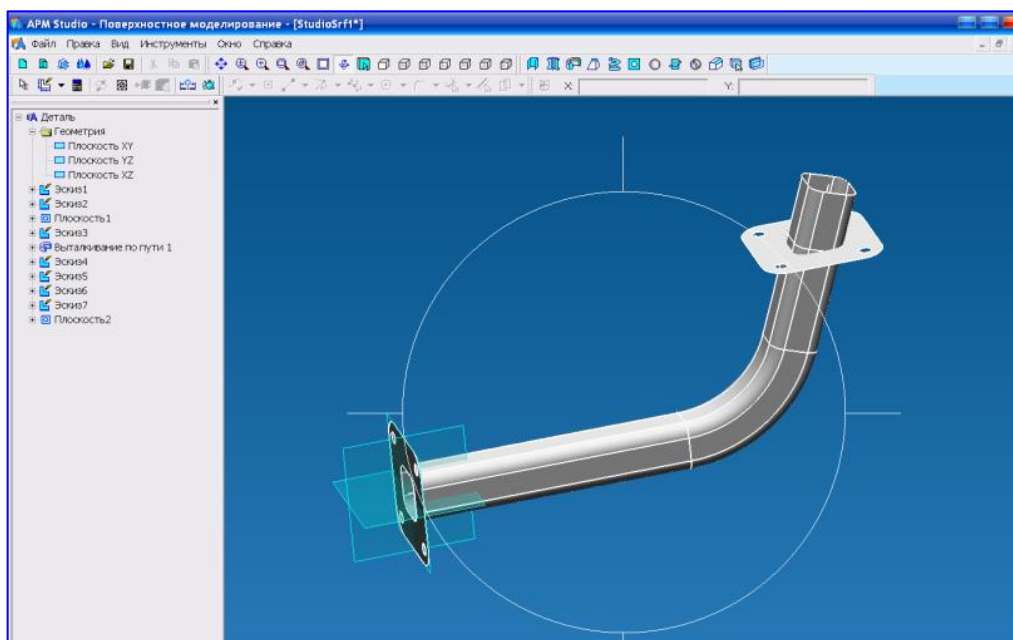




Рисунок 2.9 – Внешний вид трубы с фланцами после создания правого фланца

Пересечение квадратной трубы с поверхностью правого фланца. Удаление лишних поверхностей

– Для пересечения поверхности, полученной выталкиванием по пути с поверхностью фланца, нажимаем кнопку «**Пересечение поверхностей**»  на панели инструментов «**Операции**» и переводим курсор в рабочее окно редактора. Затем подводим курсор к «квадратной трубе» и однократно щелкаем левой клавишей мыши. Далее перемещаем курсор на поверхность созданного фланца и снова щелкаем левой клавишей мыши. После чего в **Дереве операций** вместо «**Выталкивания по пути**» и «**Плоскости**» появится целый набор поверхностей.

– Для удаления лишних поверхностей необходимо поступить следующим образом: в режиме выбора элементов (т. е. при нажатой кнопке «**Режим выбора**»  на панели инструментов «**Управление**») подвести курсор к той поверхности, которую предполагается удалить (поверхность выделится зеленоватым цветом), щелчком правой кнопки мыши вызвать контекстное меню, указав в нем пункт «**Удалить**» (рисунок 2.10).

После подтверждения операции удаления (рисунок 2.10) выбранная поверхность будет удалена. Именно таким образом производим удаление поверхности квадратной трубы, выступающей за поверхность фланца. Кроме того, аналогично следует удалить тот участок поверхности фланца, который «вырезается» квадратной трубой.

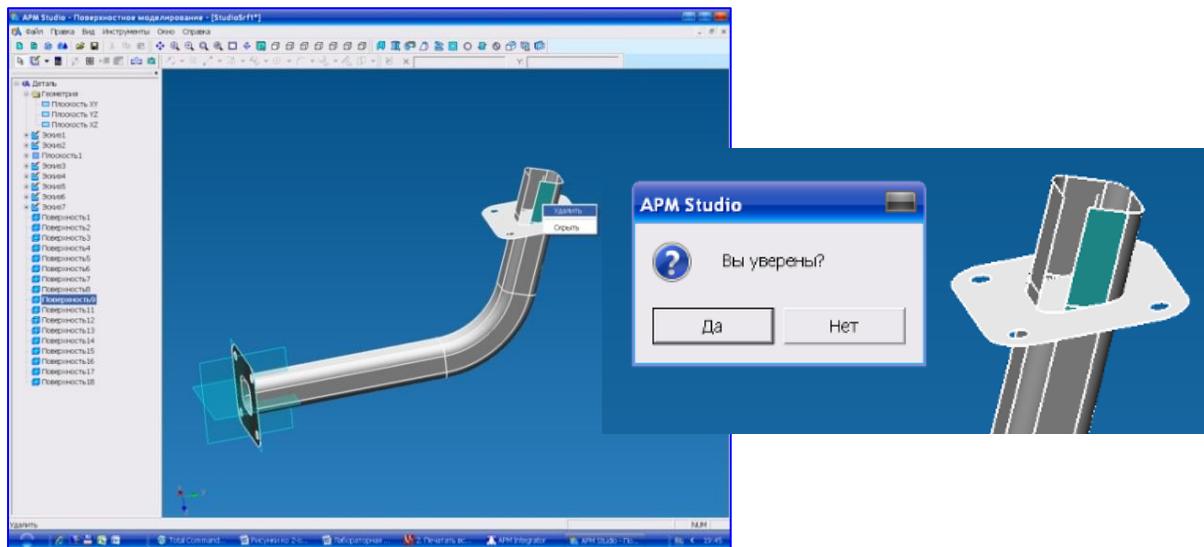



Рисунок 2.10 – Вызов контекстного меню и выбор в нем пункта «Удалить»

Сшивание поверхностей модели

Сшивание поверхностей модели необходимо для того, чтобы сгенерированная впоследствии конечно-элементная сетка (КЭ-сетка) была связанной, т. е. различные пересекающиеся поверхности имели бы общие узлы по линии пересечения. В рассматриваемом случае сшиванию подлежит поверхность квадратной трубы с поверхностью фланцев.

Переход в режим сшивания осуществляется нажатием кнопки «Сшивка поверхностей» , которая находится на панели инструментов «Операции». В этом режиме переводим курсор вначале в рабочее окно редактора (рисунок 2.11), а затем подводим его к квадратной трубе и однократно щелкаем левой клавишей мыши.

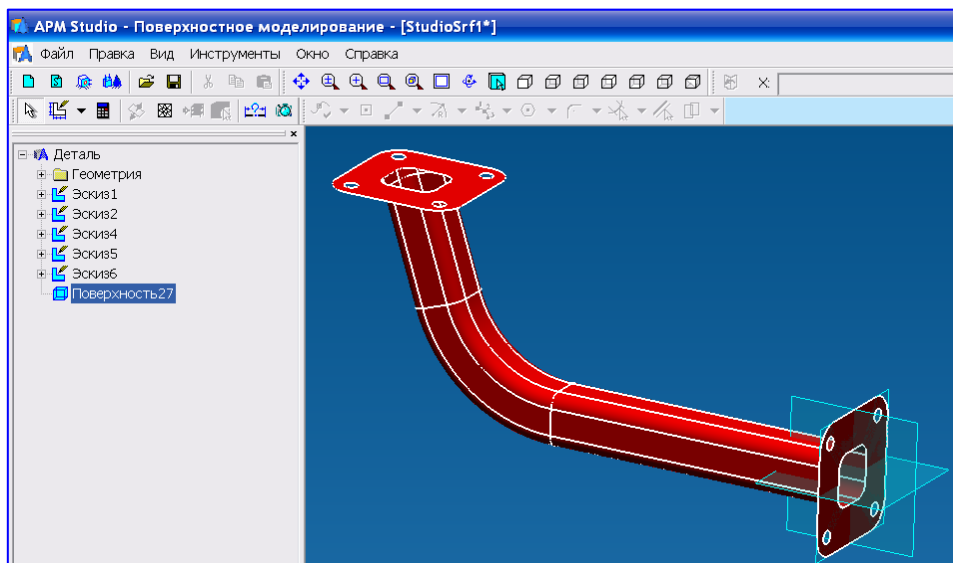


Рисунок 2.11 – Кронштейн после выполнения операции сшивания

Далее перемещаем курсор на фланец и снова щелкаем левой клавишей мыши. В итоге после выполнения операции сшивания выделение квадратной

трубы и фланца происходит совместно, как одной поверхности.

Аналогичным образом производим сшивание первого фланца и квадратной трубы. После этого вся модель имеет единую поверхность.


На этом создание поверхностной модели закончено. Для проведения прочностного расчета созданной модели конструкции можно поступить следующим образом.

Первый способ – произвести разбиение модели на КЭ и передать полученную КЭ-сетку в модуль прочностного расчета APM Structure 3D, с помощью которого указать способ закрепления модели и задать действующие на нее нагрузки. После этого можно выполнить расчет.

Второй способ – вначале задать закрепления и основные виды нагрузок, приложив их непосредственно к элементам трехмерной модели, а уже потом разбить модель на КЭ и передать сгенерированную конечно-элементную сетку с нагрузками и опорами в модуль APM Structure 3D для проведения прочностного расчета.

Третий способ – Задать закрепления и основные виды нагрузок, приложив их непосредственно к элементам трехмерной модели, разбить модель на КЭ. Прочностной расчет предпочтительнее выполнить непосредственно в модуле APM Studio.

Задание опор (закреплений) модели и приложение нагрузок

Прежде всего, нажатием кнопки «**Конечно элементный анализ**»  на панели инструментов «**Файл**» следует перейти в режим **конечно-элементного анализа**. После выполнения этой операции созданная ранее модель откроется в окне «**Конечно-элементный анализ**» (рисунок 2.12). Все дальнейшие операции с созданной ранее моделью будем производить именно в этом окне.

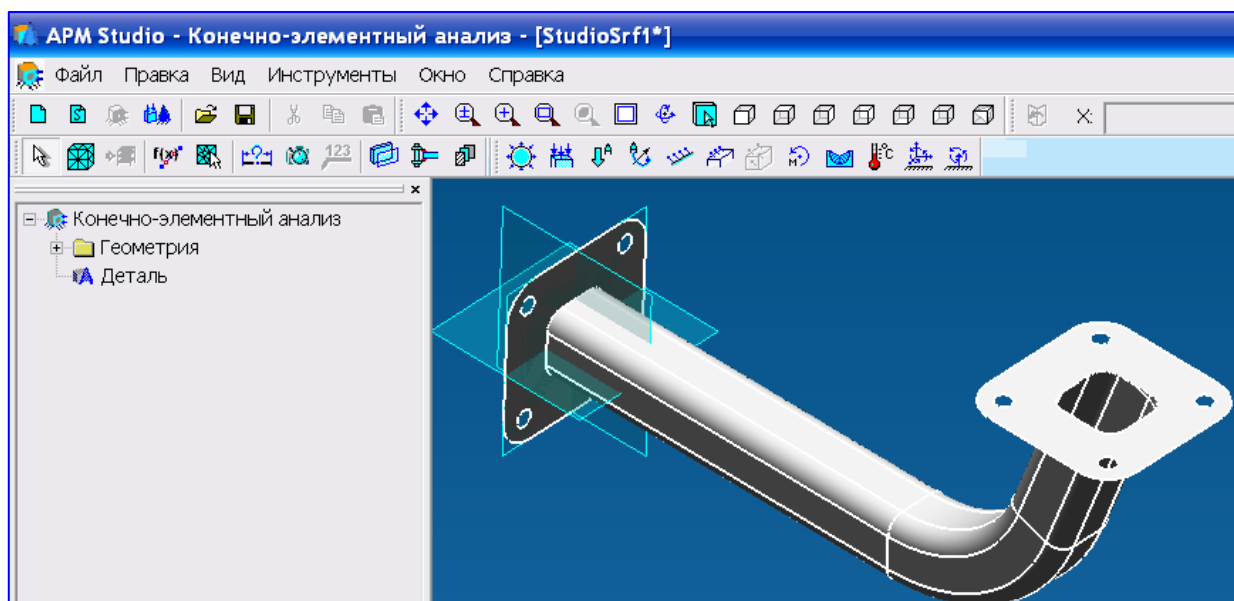



Рисунок 2.12 – Окно «Конечно-элементный анализ»

Закрепления задаются с помощью диалогового окна «Закрепление» (рисунок 2.13), которое открывается нажатием кнопки «Закрепление» , расположенной на панели инструментов «Нагрузки».

В рассматриваемом примере левый фланец с помощью болтов крепится к вертикальной стенке (см. рисунок 2.1), поэтому закреплять будем всю плоскость левого фланца.

Для создания закрепления на каком-либо объекте (границе или ребре) необходимо привести курсор на этот объект и щелкнуть на нем левой кнопкой мыши, после чего выбранный объект будет занесен в соответствующий список. Затем нужно указать тип закрепления этого объекта, разрешив или

запретив его перемещение и повороты вокруг глобальных осей координат – это делается с помощью группы полей, расположенных в нижней части диалогового окна «Закрепление». В результате этих действий на выбранной поверхности появятся специальные значки (рисунок 2.13), показывающие, что заданы

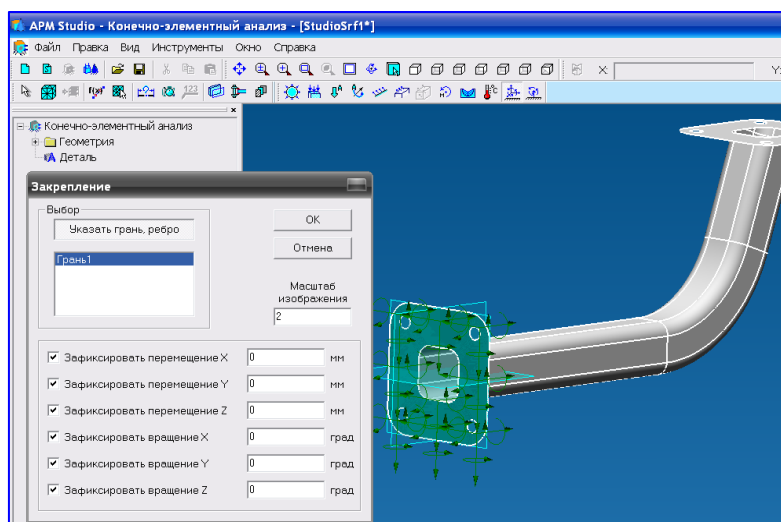



Рисунок 2.13 – Диалоговое окно «Закрепление»

соответствующие закрепления, а сама операция будет добавлена в **Дерево операций**.

С помощью задания в поле ввода **Масштаб изображения** масштабного коэффициента, можно изменить размер значков показываемых опор, если они слишком велики или малы по сравнению с размерами детали.

Для перехода в режим задания *распределенной нагрузки*, действующей на правый фланец кронштейна (см. рисунок 2.1) в направлении стрелки вида Б,

нажимаем кнопку «Давление» , находящуюся на панели инструментов «Нагрузки». Открывается диалоговое окно «Давление» (рисунок 2.14), с помощью которого можно задать силовые факторы, действующие на выделенный объект (грань). Выделение объекта, как обычно, производится щелчком левой кнопкой мыши после предварительного наведения курсора на этот объект.

Заметим, что в качестве силового фактора может выступать как сила (что и имеет место в рассматриваемом случае), так и давление. С этой целью в окне «Давление» имеется специальный переключатель размерностей. В соответствии с условиями данной задачи на правый фланец кронштейна действует сила величиной 150 Н, поэтому этот переключатель ставим в положение «Н»,

а в поле ввода «Давление» записываем величину силы – **150**. Направление силы контролируем по стрелкам (рисунок 2.14), которые появляются в поле окна конечно-элементного анализа, и при необходимости меняем направление изменением знака величины силы.

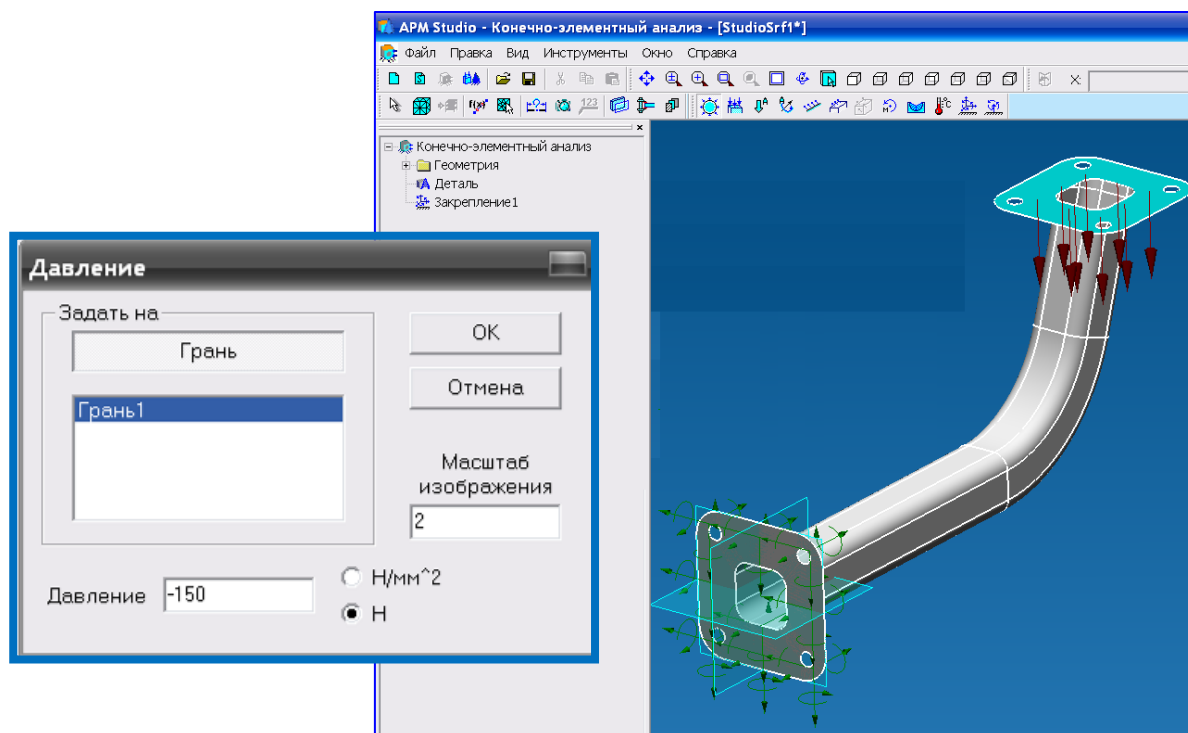



Рисунок 2.14 – Диалоговое окно «Давление»


На этом задание закреплений модели приложение к ней нагрузок заканчивается.

Присвоение пластинам толщины и параметров материала

Прежде чем приступить к разбиению модели на конечные элементы и выполнению расчета, необходимо присвоить всем пластинам модели толщину и параметры материала.

Для этого переходим в соответствующий режим нажатием на панели инструментов «Управление» кнопки «Толщина пластин» . Далее в открывшемся диалоговом окне помечаем на расчетной модели грани, которым присваивается толщина – это делается щелчком левой кнопки мыши при наведении курсора на эту грань. Выделенная поверхность появится в списке граней, для которых после нажатия кнопки «Ок» будет задана толщина, введенная в поле «Толщина». В дереве операции появится новый объект **Толщина пластин 1**.

Поскольку в рассматриваемом примере различные пластины имеют разную толщину (1 и 2 мм), то целесообразно поступить следующим образом: вначале задать всем пластинам одинаковую толщину, равную 1 мм, а затем выделить группу пластин с толщиной 2 мм и заново присвоить им толщину 2 мм.

Для присвоения пластинам свойств того или иного материала предназначен специальный режим, переход в который происходит нажатием на панели инструментов «Управление» кнопки «Материал» . С помощью открывшегося диалогового окна «Материал» (рисунок 2.15) задаем свойства материала: в соответствии с условиями задачи выбираем из выпадающего списка *Сталь* и нажимаем кнопку «Задать всем».

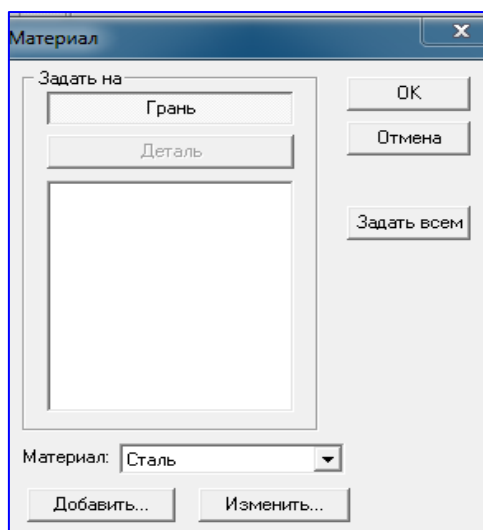



Рисунок 2.15 – Диалоговое окно «Материал»

Параметры материала *Сталь* соответствуют стали Ст 3кп. Нажатием кнопки «Добавить...» можно просмотреть параметры выбранного материала и при необходимости изменить их. Кроме того, с помощью кнопки «Добавить...» можно добавить в выпадающий список новый материал или выбрать какой-то материал из базы данных, а затем присвоить элементам модели. После закрытия этого окна в дереве операции появляется объект **Материал 1**.

Поскольку все свойства материалов, а также толщина пластин и граничные условия заданы, можно разбить подготовленную модель на конечные элементы и выполнить прочностной расчет модели.

Разбиение поверхностной модели на конечные элементы

Нажимаем кнопку «КЭ сетка»  на панели инструментов «Управление» и в поле ввода «Максимальная длина стороны конечного элемента» открывшегося диалогового окна «Параметры разбиения поверхностной модели» (рисунок 2.16) указываем величину максимальной длины треугольного конечного элемента – например, **5 мм**, с тем, чтобы окружности и дуги созданной модели были описаны корректно.

Если у модели имеются поверхности разной кривизны, по возможно появление концентраторов напряжений. В этом случае при разбиении целесообразно использовать конечные элементы различной длины. Чтобы это реализовать, нужно задать в соответствующем поле ввода окна «Параметры разбиения поверхностной модели» так называемый **Максимальный коэффициент сгущения на поверхности**. Число, записанное в это поле, показывает, во

сколько раз может быть уменьшена максимальная длина стороны элемента в местах изменения геометрии модели. Если в этом поле записать единицу, то сгущение отсутствует, т. е. все конечные элементы будут иметь одинаковые параметры.

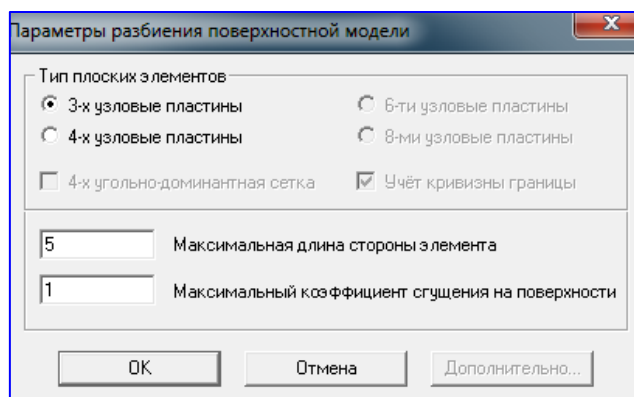


Рисунок 2.16 – Диалоговое окно «Параметры разбиения поверхностной модели»

После нажатия кнопки «**ОК**» начинается процедура разбиения модели. Сгенерированная конечно-элементная (КЭ) сетка открывается в отдельном окне (рисунок 2.17), и если по каким-либо параметрам она не устраивает пользователя, то это окно может быть закрыто, а разбиение произведено заново.

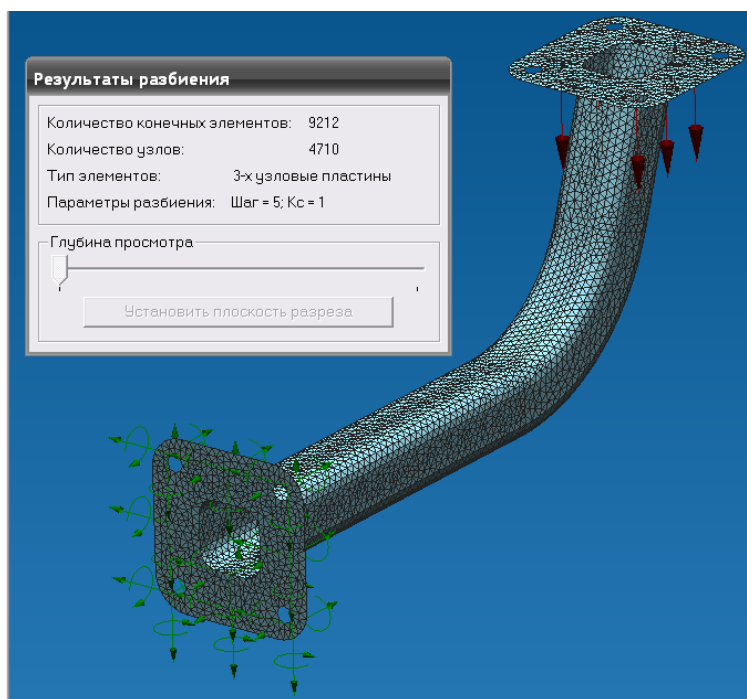


Рисунок 2.17 – Конечно-элементная сетка

Созданная КЭ-сетка, вместе с действующими на модель нагрузками и заданными опорами, (или без них) может быть сохранена в отдельном файле, а затем, импортирована в модуль прочностного расчета APM Structure 3D. Можно также передать построенную модель непосредственно в APM Structure 3D без ее промежуточного сохранения. Однако прочностной расчет

предпочтительно выполнить непосредственно в модуле APM Studio.

Выполнение расчета

Для запуска модели конструкции на расчет следует выбрать в меню **Расчет** пункт **Расчет...** и в открывшемся диалоговом окне **«Расчет»** отметить флажком тот тип расчета, который необходимо выполнить – в рассматриваемой задаче это **Статический расчет**.

После выполнения расчета можно визуализировать его результаты в графическом или числовом виде. С этой целью выбираем в меню **«Результаты»** пункт **«Карта результатов ...»** и в открывшемся диалоговом окне **«Параметры вывода результатов»** (рисунок 2.18) указываем вид карты результатов, т. е. параметр, для которого будет строиться эта карта.

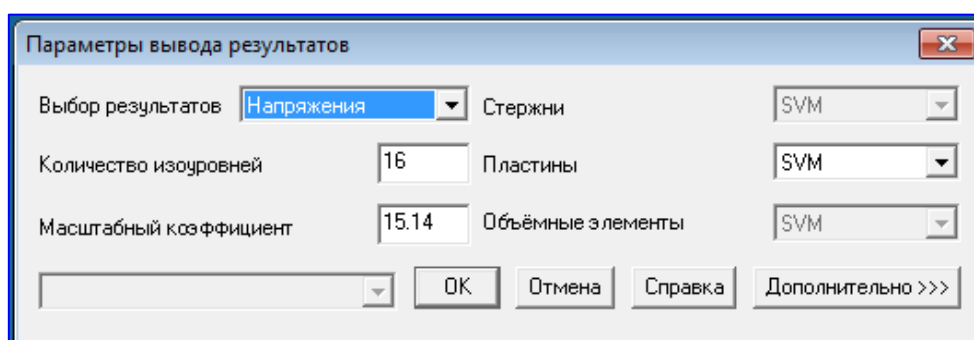


Рисунок 2.18 – Параметры вывода результатов

В качестве примера на рисунке 2.19 представлена карта эквивалентных (по Мизесу) напряжений, возникающих в модели кронштейна.

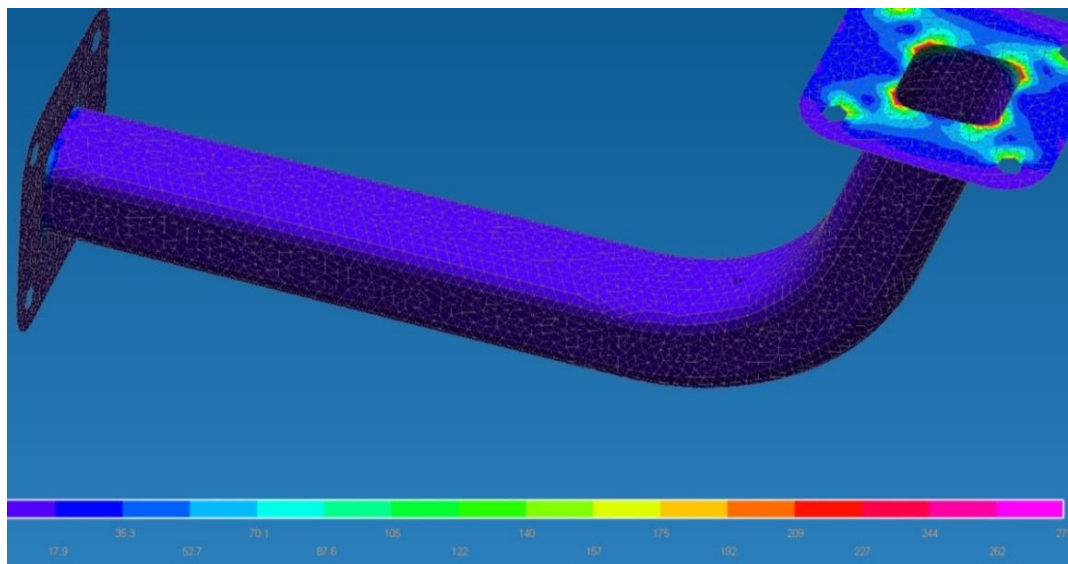


Рисунок 2.19 – Карта результатов

Эти напряжения обозначаются SVM и показываются на каждой из поверхностей пластины.

Контрольная работа №2

Прочностной расчёт кронштейна созданного в модуле APM Studio

Произвести прочностной расчет кронштейна, представленного на рисунке 2.20. Параметры кронштейна по вариантам представлены в таблице 2.1.

К горизонтальной поверхности уголка приложить распределенную силу величиной 2000 Н, направленной вертикально вниз. Крепление фланца к вертикальной стене осуществляется с помощью болтов. Необходимо предусмотреть специальные кольцевые зоны шириной 5 мм под размещение головки болта, которые будут использоваться для задания закрепления модели.

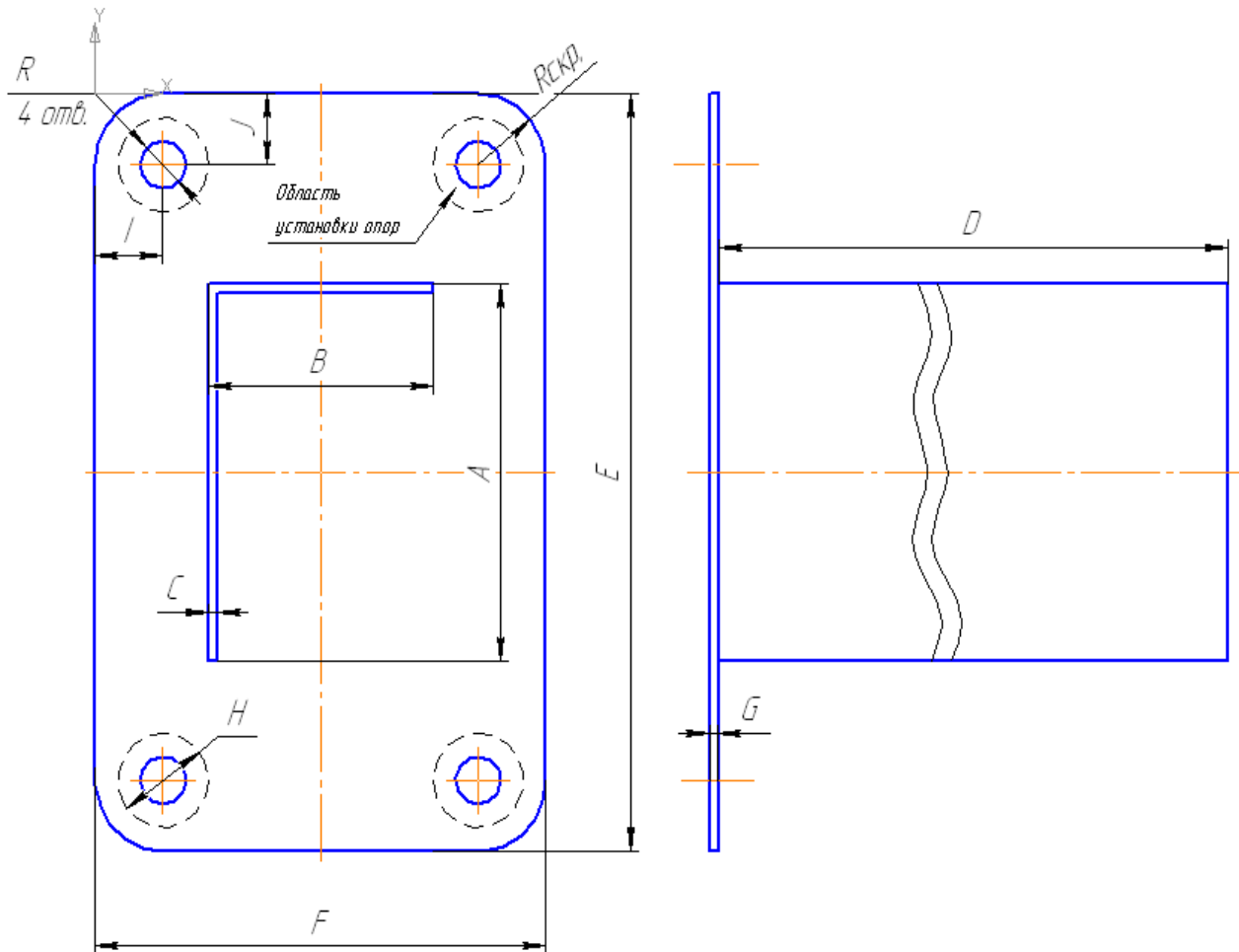


Рисунок 2.20 –Чертёж кронштейна для самостоятельного выполнения расчёта

Таблица 2.1 – Варианты для построения кронштейна в редакторе APM Studio

Вариант	Уголок				Пластина			Кольцевая зона	Расстояние от края пластины до центра отверстия		Радиус отверстия	Радиус скругления
	Высота	Ширина	Толщина	Длина	Высота	Ширина	Толщина		По горизонтали	по вертикали		
	A	B	C	D	E	F	G		I	J		
мм				мм			мм	мм		мм		
1	80	60	3	350	200	120	3	26	20	20	8	20
2	95	58	3	400	190	115	3	25	19	19	7	19
3	90	56	3	450	180	110	3	24	18	18	7	18
4	85	54	3	400	170	105	3	23	17	17	6	17
5	80	52	2	300	160	100	2	22	16	16	6	16
6	75	50	2	450	150	95	2	21	15	15	5	15
7	70	48	2	400	140	90	2	20	14	14	5	14
8	65	46	2	350	130	85	2	19	13	13	4	13
9	60	44	2	300	120	80	2	18	12	12	4	12
10	100	60	3	500	220	140	3	26	20	20	8	20
11	95	58	3	450	215	135	3	25	19	19	7	19
12	90	56	3	500	210	130	3	24	18	18	7	18
13	85	54	3	450	205	125	3	23	17	17	6	17
14	80	52	2	500	200	120	2	22	16	16	6	16
15	75	50	2	450	195	115	2	21	15	15	5	15
16	70	48	2	400	190	110	2	20	14	14	5	14
17	65	46	2	350	185	105	2	19	13	13	4	13
18	60	44	2	300	180	100	2	18	12	12	4	12
19	60	44	2	250	120	80	2	18	12	12	4	12
20	100	60	3	450	220	140	3	26	20	20	8	20
21	95	58	3	400	215	135	3	25	19	19	7	19
22	90	56	3	450	210	130	3	24	18	18	7	18
23	85	54	3	400	205	125	3	23	17	17	6	17
24	80	52	2	450	200	120	2	22	16	16	6	16
25	75	50	2	400	195	115	2	21	15	15	5	15
26	70	48	2	350	190	110	2	20	14	14	5	14
27	65	46	2	300	185	105	2	19	13	13	4	13
28	60	44	2	250	180	100	2	18	12	12	4	12
29	70	48	2	300	140	90	2	20	14	14	5	14
30	65	46	2	250	130	85	2	19	13	13	4	13

Рекомендации при выполнении самостоятельной работы №2

1. Модель создаётся из пластин, которым затем перед разбиением на конечные элементы присваивается толщина.
2. Желательно производить выталкивание замкнутых контуров, а потом, если необходимо, удалять не нужные грани. В данном примере следует вытолкнуть замкнутый прямоугольный контур на требуемую длину, а затем удалить лишние грани.

Лабораторная работа №3

Прочностной расчет твердотельной модели опоры подшипника скольжения, построенной с использованием редактора APM Studio

Цель работы: научиться выполнять расчет параметров твердотельной модели в модуле APM Studio на общем примере и по индивидуальному заданию.

Пример выполнения расчета

Условие. Выполнить статический расчет модели нижней части опоры подшипника скольжения, изображенной на рисунке 3.1.

Материал опоры – сталь 45. Основание опоры закрепляется на горизонтальной плоскости с помощью двух болтов, а к цилиндрической поверхности R32,5 приложена равномерно распределенная нагрузка величиной 14000 Н.

Алгоритм выполнения расчета

1. Построение трехмерной объемной модели конструкции.
2. Задание опор (закреплений) модели и приложение нагрузок.
3. Разбиение объемной модели опоры на конечные элементы.
4. Передача конечно-элементной сетки в модуль APM Structure3D.
5. Задание параметров материала.
6. Выполнение расчета.

Выполнение расчета твердотельной модели опоры подшипника (рисунок 3.1)

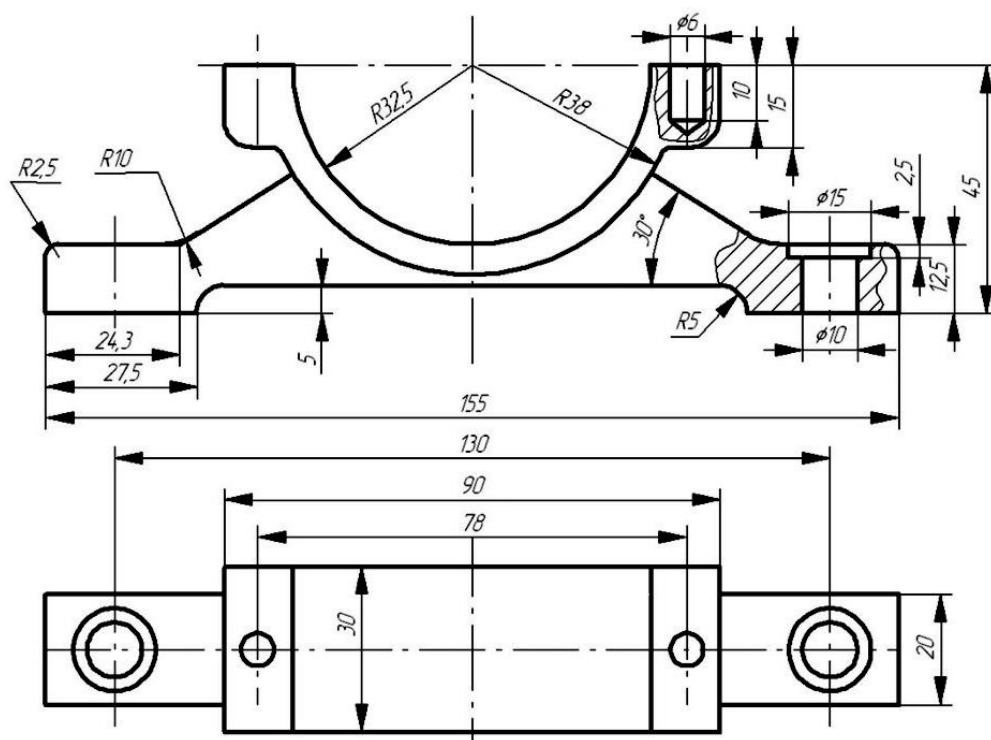



Рисунок 3.1 – Опора подшипника скольжения

После запуска модуля APM Studio следует убедиться, что он находится в режиме твердотельного моделирования – режим указан в заголовке открытого окна. Если же в заголовке написано «**Поверхностное моделирование**», то для перехода в режим твердотельного моделирования необходимо нажать расположенную на панели инструментов «Файл» кнопку «**Создать твердотельную модель**» , что вызовет открытие окна с заголовком «**Твердотельное моделирование**».

3.1 Построение трехмерной объемной модели конструкции.



Построение модели проводим по следующему плану:

- выбор одной из базовых плоскостей (фронтальной) для создания плоского эскиза модели;
- создание образующего замкнутого контура основания опоры;
- создание образующего контура рабочей поверхности опоры;
- создание образующих контуров отверстий;
- выталкивание образующего контура основания опоры в обоих направлениях с целью получения твердотельной модели основания;
- выталкивание образующего контура рабочей поверхности в обоих направлениях с целью получения твердотельной модели рабочей поверхности.

Вращение образующих контуров отверстий путем их «вычитания» из основного материала.

Рассмотрим все этапы построения модели подробно.

Выбор одной из базовых плоскостей (фронтальной) для создания плоского эскиза модели. Построение эскиза целесообразно организовать таким образом, чтобы ось Z (ось действия силы тяжести) была расположена в вертикальном направлении, что эквивалентно размещению эскиза в плоскости YZ глобальной системы координат, совпадающей с плоскостью экрана. Для этого в **Дереве операций** открываем папку «**Геометрии**», затем нажимаем

кнопку «**Новый эскиз**»  на инструментальной панели «**Управление**», подводим курсор к надписи «**Плоскость YZ**» в **Дереве операций** и однократно щелкаем на этой надписи левой клавишей мыши. Для того чтобы плоскость эскиза совпадала с плоскостью экрана, нажимаем кнопку «**Показать плоскость**»  на панели инструментов «**Вид**».

Для того чтобы корректно расположить создаваемую модель относительно направления действующей силы тяжести, необходимо быть уверенным, что ось Z глобальной системы координат направлена вертикально вверх. Ось Y глобальной системы координат должна быть в этом случае направлена слева направо. Такое расположение осей глобальной системы координат соответствует виду спереди модуля конечно-элементного анализа APM Structure 3D, в котором будет производиться прочностной расчет. Локальная система

координат эскизной плоскости может при этом не совпадать с глобальной системой координат.

В этой эскизной плоскости необходимо построить образующие контуры частей нижней части опоры подшипника (рисунок 3.2). На рисунке различными цветами выделены те образующие контуры, с помощью которых будут создаваться элементы твердотельной модели. Для обеспечения связанности отдельных элементов эти контуры должны иметь взаимные пересечения.

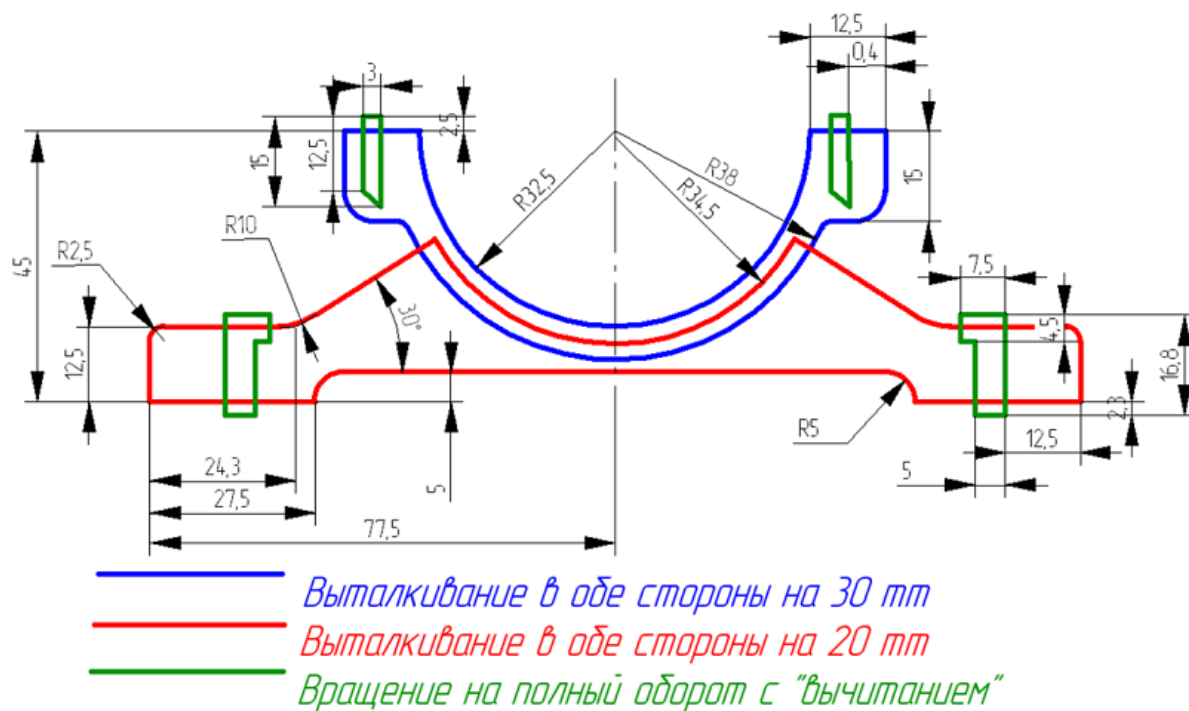




Рисунок 3.2 – Плоский эскиз модели опоры подшипника скольжения


Создание образующего замкнутого контура основания опоры.

Целесообразно построить только половину контура, а вторую половину получить с помощью операции симметрирования. В качестве начальной точки (расположенной в начале системы координат эскизной плоскости) возьмем левую нижнюю точку образующего контура основания.

– Для построения **горизонтального отрезка** длиной 27,5 мм воспользу-

емся режимом «Отрезок», переход в который осуществляется кнопкой , расположенной на панели инструментов «Эскиз». Переводим курсор в рабочее окно редактора. В поля ввода панели инструментов «Ручной ввод»

 записываем координаты первой точки отрезка: $X = 0$ и $Y = 0$. Щелкаем левой кнопкой мыши, чтобы зафиксировать введенные величины. Далее указываем координаты конечной точки, т. е. длину и угол: $L = 27,5$ (длина);

 $A = 0$ (угол).

И снова щелчок левой кнопкой мыши. Горизонтальный отрезок создан.

– Строим **вертикальный отрезок** длиной 5 мм, начальной точкой которого будет служить конечная точка уже построенного отрезка. Координата конечной точки нового отрезка равна $L = 5$, а угол – $A = 270$. Угол, равный 270° , следует задавать для того, чтобы отрезок располагался вертикально, поскольку ось Z локальной системы координат направлена сверху вниз.


– Аналогично в направлении слева направо строим **горизонтальный отрезок** длиной 50 мм ($155/2 - 27.5 = 50$ мм) – он начинается из конечной точки второго отрезка.


– С целью определения центра дуги опорной поверхности из конца предыдущего отрезка создаем **вертикальный отрезок** длиной 40 мм ($45 - 5 = 40$ мм).

– Из точки с координатами (0, 0) строим **вертикальный отрезок** длиной 12,5 мм.


– Из конца этого отрезка в направлении слева направо создаем **горизонтальный отрезок** длиной 24,3 мм.

– Из конца предыдущего отрезка под углом 30° проводим прямую линию такой длины, чтобы она впоследствии смогла пересечь дугу радиусом $R = 34,5$ мм. Достаточно, чтобы длина такого отрезка была больше 30 мм.

– **Создание дуги с радиусом $R = 34,5$ мм** Нажатием на панели инструментов «Эскиз» кнопки  переходим в режим «Дуга по центру, началу и углу». Переводим курсор в рабочее окно редактора, совмещаем его с определенной ранее точкой центра дуги и щелкаем левой кнопкой мыши. В поле ввода панели инструментов «Ручной ввод» записываем значение радиуса дуги $R = 34,5$, затем щелчком левой кнопки мыши фиксируем первую точку дуги таким образом, чтобы созданная дуга пересекала наклонный отрезок. Конечную точку дуги, расположенную правее вертикального отрезка оси симметрии, также фиксируем щелчком левой кнопки мыши. Дуга создана. Контур основания приобретает вид, представленный на рисунке 3.3.

– **Построение скруглений.** Нажимаем кнопку «Скругление»  на панели инструментов «Эскиз». Затем поочередно щелкаем на скругляемых отрезках (при этом они выделяются зеленоватым цветом). Если установить курсор внутри скругляемого угла, то на экране монитора появится динамический объект – скругление. В поле ввода панели инструментов «Ручной ввод» записываем $R = 5$ и щелкаем левой кнопкой мыши. Аналогичным образом скругляем все остальные углы прямоугольника (по чертежу).

– **Удаление лишних элементов.** После выполнения скруглений следует удалить лишние части построенных элементов. Это делается в режиме, кото-

рый вызывается нажатием кнопки «Усечь»  на панели инструментов «Эскиз». Для удаления части объекта достаточно щелкнуть на ней левой кнопкой

мыши. При этом удалится часть объекта, ограниченная пересечениями с ближайшими объектами. Указанным образом удаляем лишние части построенных отрезков и дуги.

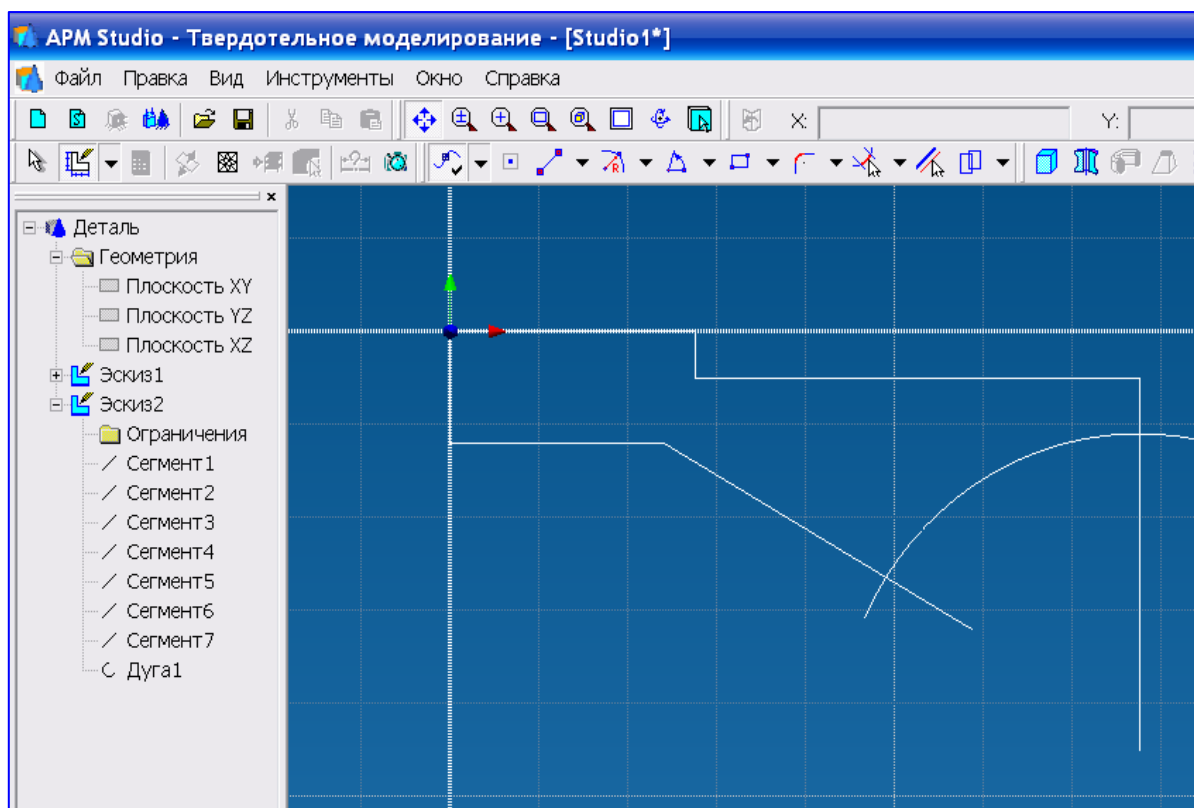


Рисунок 3.3– Построение 1/2 части опоры

Выполнение операции зеркального копирования объекта. Прежде чем приступить к этой операции, необходимо предварительно выделить подлежащие симметричному копированию объекты. Для этого нажимаем расположенную на панели инструментов «Управление» кнопку «Режим выбора»



и щелкаем левой кнопкой мыши на соответствующем элементе или выделяем группу элементов с помощью рамки. Выделенные элементы приобретают красный цвет.

Напомним, что если рамка рисуется слева направо («охватывающая» рамка), то выделению подвергнутся те элементы, которые полностью попали в окно выбора. Если же рамка изображается справа налево («секущая» рамка), то выделяются все элементы модели, которые хотя бы частично попадают в эту рамку.


Для непосредственного выполнения операции симметрирования переходим в соответствующий режим нажатием кнопки «Зеркальное отображение»



(панель инструментов «Эскиз»). Одновременно открывается диалоговое окно «Зеркальное отображение», в котором *не должен* быть установлен флажок опции «Удалить исходные объекты». Теперь следует задать ось симметрии. Для этого щелкаем по начальной и конечной точкам вертикального


отрезка, совпадающего с осью симметрии. После второго щелчка левой кнопкой мыши создается зеркальная копия выделенных объектов.

Создание образующего контура рабочей поверхности опоры

– **Создание дуги радиусом $R = 32,5$ мм.** Переходим в режим «Дуга по центру, началу и углу», нажав на панели инструментов «Эскиз» кнопку . Переводим курсор в рабочее окно редактора, совмещаем его с определенной ранее точкой центра дуги и щелкаем левой кнопкой мыши. В поле ввода панели инструментов «Ручной ввод» записываем значение радиуса дуги $R = 32,5$, а затем щелчком левой кнопки мыши фиксируем начальную точку дуги таким образом, чтобы эта точка располагалась выше точки геометрического центра дуги. Конечную точку дуги фиксируем щелчком левой кнопки мыши так, чтобы дуга пересекала вертикальный отрезок, совпадающий с осью симметрии. Конечную точку дуги, расположенную правее вертикального отрезка оси симметрии, также. Дуга создана. Аналогично создаем дугу с $R = 38$ мм.

– **Проводим горизонтальный отрезок** длиной $L = 32,5 + 12,5 = 45$ мм в направлении справа налево от центра дуги. Привязываясь к конечной точке этого отрезка, строим еще два отрезка: один вертикально вниз, длиной 15 мм, а другой горизонтально в направлении справа налево, причем таким образом, чтобы он пересекал дугу радиусом с $R = 38$ мм.

– **Создание скруглений.** Выполняем скругление левого нижнего угла контура с радиусом $R = 5$.

– **Удаление лишних элементов.** После выполнения скруглений следует удалить лишние части построенных элементов. Это делается в режиме, который вызывается «Усечь»  на панели инструментов «Эскиз». Для удаления части объекта достаточно щелкнуть на ней левой кнопкой мыши. При этом удалится часть объекта, ограниченная пересечениями с ближайшими объектами. Указанным образом удаляем лишние части построенных отрезков и дуг.

– **Выполнение операции зеркального копирования объекта.** Полученную половинку контура рабочей поверхности отображаем относительно оси симметрии с целью получения полного контура. Результат выполнения всех операций по созданию обоих контуров приведен на рисунке 3.4.

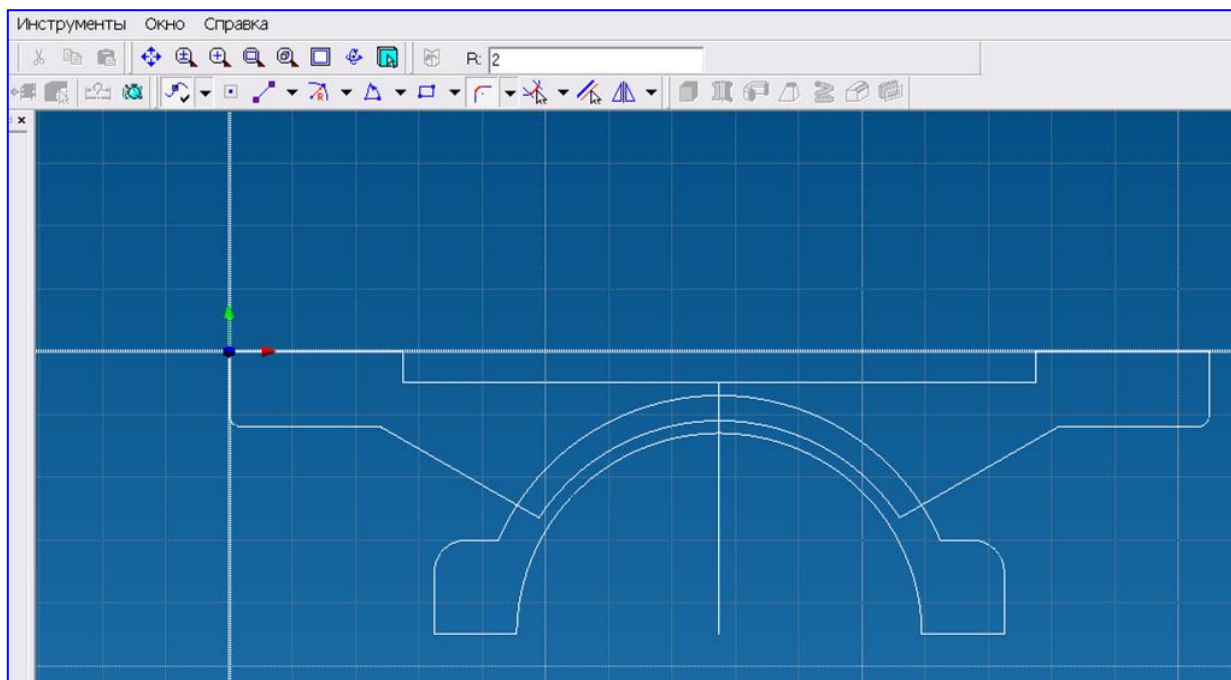


Рисунок 3.4 – Зеркальное копирование объекта

Создание образующих контуров отверстий


Образующие контуры отверстий создаем замкнутыми, определяющими левую половину отверстия, таким образом, чтобы после выполнения операции вращения получилось бы отверстие определенной формы.

- Создаем замкнутые контуры половинок отверстий в левой части эскиза из отрезков, по размерам, указанным на рисунке 3.2.

- После прорисовки контуров образующих отверстий проводим их им-метирование.

На этом создание замкнутых контуров во фронтальной эскизной плоскости закончено. Следующими операциями будут формообразующие операции с использованием этих контуров.

Вытапливание образующего контура основания опоры в обоих направлениях с целью получения твердотельной модели основания

Нажатием кнопки «**Вытапливание**»  на инструментальной панели «**Операции**» открываем диалоговое окно «**Вытапливание**» (рисунок 3.5), предназначенное для задания параметров вытапливания. Затем следует указать контур для вытапливания, щелкнув на нем левой кнопкой мыши – выделенный контур выделится цветом. В рассматриваемом случае выделению подлежат левая и правая половины контура, поэтому необходимо последовательно щелкнуть на них. Переключатель *Тип операции* для вытапливания первого контура может находиться только в положении «**Объединение**» (остальные опции неактивны).

Переключатели *Параметры вытапливания* выставляем следующим образом: выбираем «**Дистанция**» и «**Оба направления**», а в поле ввода «**Дистанция**» записываем величину **20** (мм). После нажатия кнопки «**ОК**» произойдет

выталкивание контура основания симметрично относительно эскизной плоскости на расстояние 20 мм.

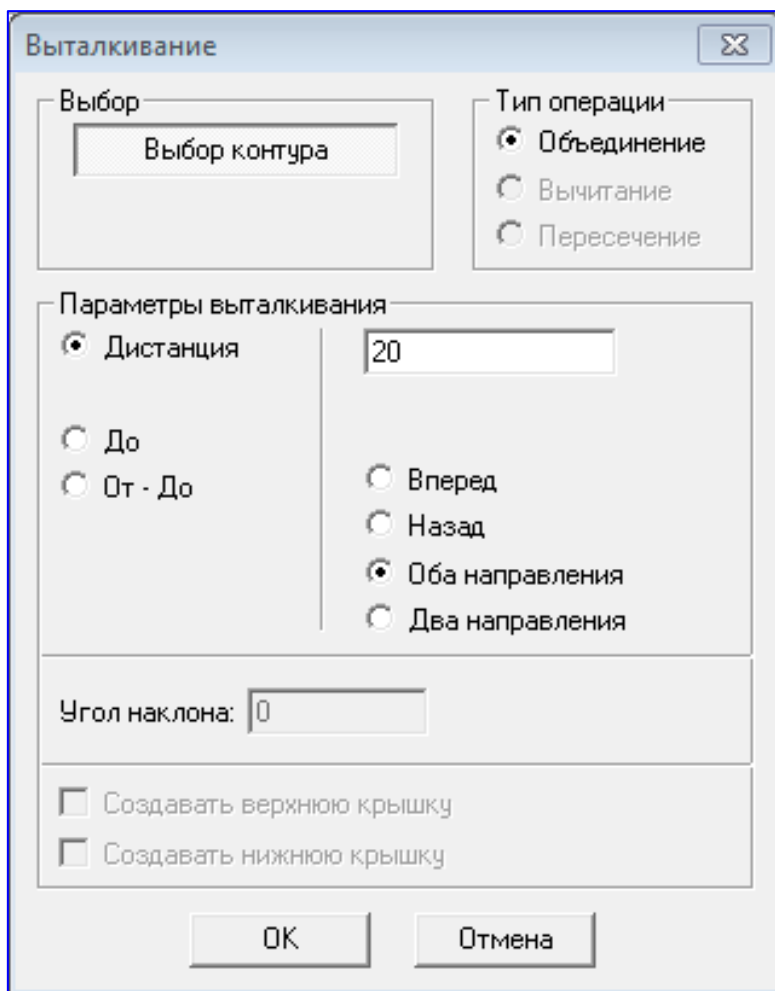


Рисунок 3.5 – Диалоговое окно команды «Выталкивание»

Результат операции выталкивания контура основания изображен на рисунке 3.6

Выталкивание образующего контура рабочей поверхности в обоих направлениях с целью получения твердотельной модели рабочей поверхности

Выталкивание контура рабочей поверхности производим аналогично выталкиванию контура основания, только при задании параметров в качестве типа операции необходимо выбрать «**Объединение**», при котором произойдет соединение твердых тел, получаемых при выталкивании пересекающихся контуров. В поле ввода «**Дистанция**» заносим число 30 (мм). В результате выполнения этой операции получается твердотельная модель, изображенная на рисунке 3.7. Она почти целиком соответствует исходному чертежу, осталось только создать отверстия.

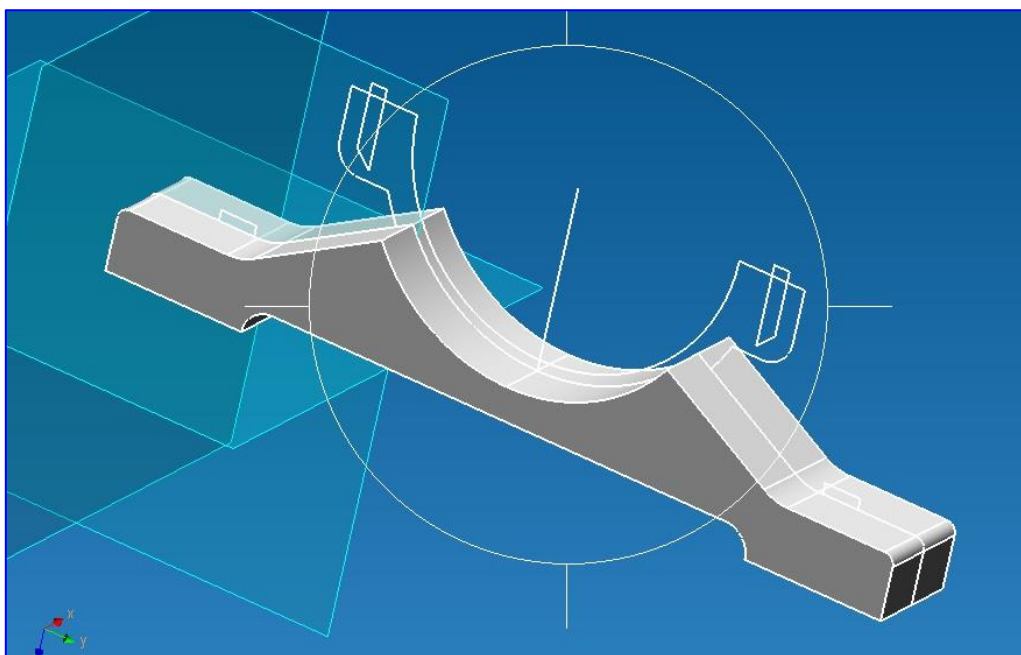



Рисунок 3.6 – Пространственная модель основания опоры подшипника

Вращение образующих контуров отверстий путем их «вычитания» из основного материала

Построение отверстий происходит с помощью операции вращения соответствующих образующих контуров с удалением материала из образованных элементов. Переход в этот режим осуществляется нажатием кнопки «Враще-

ние» , находящейся на инструментальной панели «Операции». Сразу же после нажатия этой кнопки открывается диалоговое окно «Вращение» (рисунок 3.7), с помощью которого необходимо задать параметры операции.

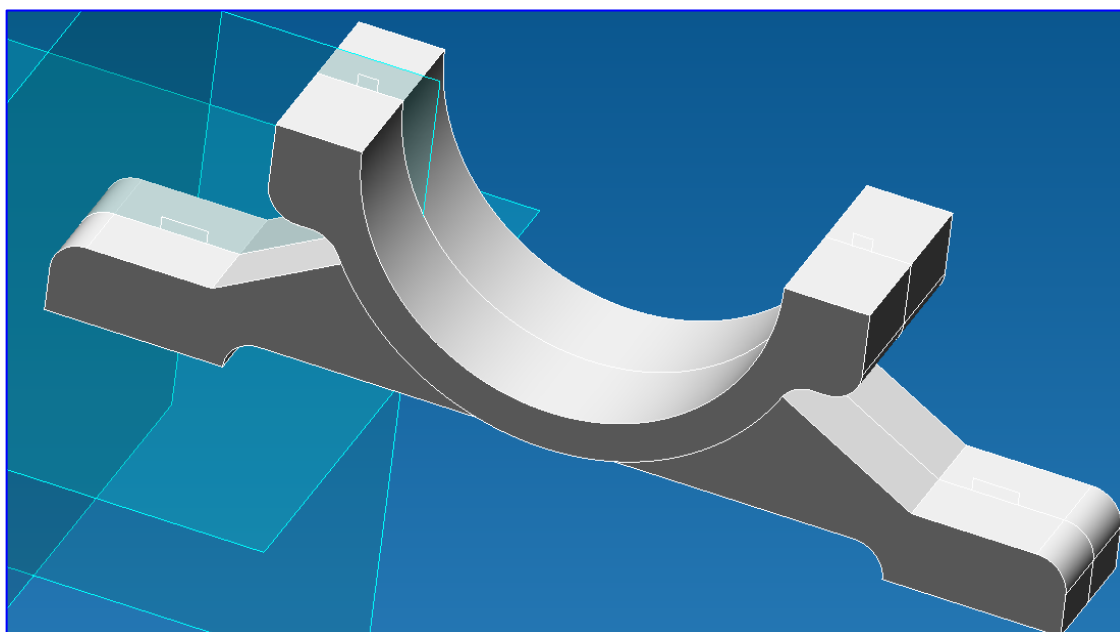


Рисунок 3.7– Пространственная модель опоры

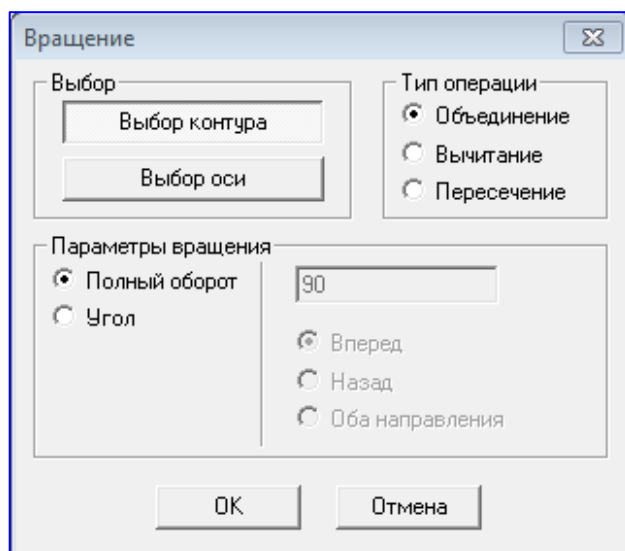


Рисунок 3.8 – Диалоговое окно команды «Вращение»

Вначале выбираем контур для вращения (кнопка «**Выбор контура**» в диалоговом окне «**Вращение**» нажата), щелкая на нем левой кнопкой мыши. Выбранный контур выделится. Затем нажимаем кнопку «**Выбор оси**» и щелчком на соответствующем отрезке контура указываем ось вращения. Переключатель *Тип операции* ставим в положение «**Вычитание**», так как вращение происходит с удалением материала основания, а переключатель *Параметры вращения* – в положение «**Полный оборот**». После нажатия кнопки «**ОК**» произойдет вращение выделенного контура на 360° с удалением материала, в результате чего образуется необходимое отверстие.

Аналогичным образом создаем остальные три отверстия. Результат выполнения этой операции изображен на рисунок 3.9.

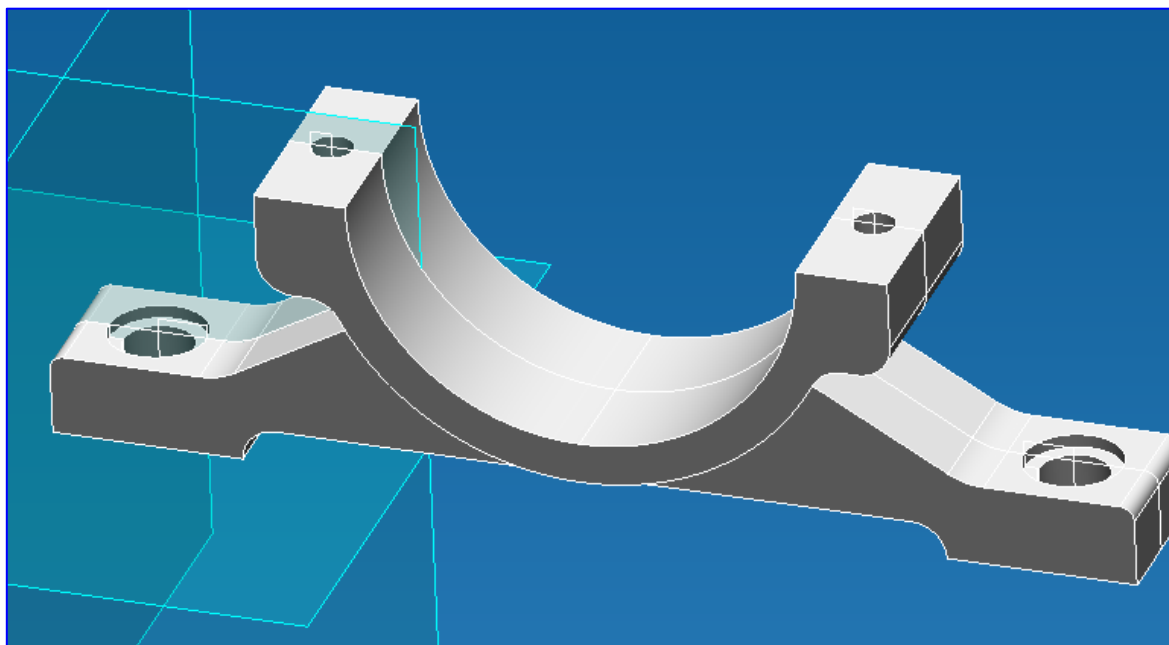



Рисунок 3.9 – Пространственная модель опоры с отверстиями


На этом создание твердотельной модели основания опоры подшипника скольжения закончено. Для проведения прочностного расчета созданной модели конструкции можно поступить следующим образом.

Первый способ – произвести разбиение модели на КЭ и передать полученную КЭ-сетку в модуль прочностного расчета APM Structure3D, с помощью которого указать способ закрепления модели и задать действующие на нее нагрузки. После этого можно выполнить расчет.

Второй способ (более предпочтительный) – вначале задать закрепления и основные виды нагрузок, приложив их непосредственно к элементам трехмерной модели, а уже потом разбить модель на КЭ и передать сгенерированную конечно-элементную сетку с нагрузками и опорами в модуль APM Structure 3D для проведения прочностного расчета.

3.2 Задание опор (закреплений) модели и приложение нагрузок

Прежде всего нажатием кнопки  на панели инструментов «Файл» следует перейти в режим конечно-элементного анализа. После выполнения этой операции созданная модель откроется в окне «Конечно-элементный анализ». Все дальнейшие операции с созданной ранее моделью будем производить именно в этом окне.

Закрепления (опоры модели) задаются с помощью диалогового окна «Закрепление» (рисунок 3.10), которое открывается нажатием кнопки «Закрепление» , расположенной на панели инструментов «Нагрузки».

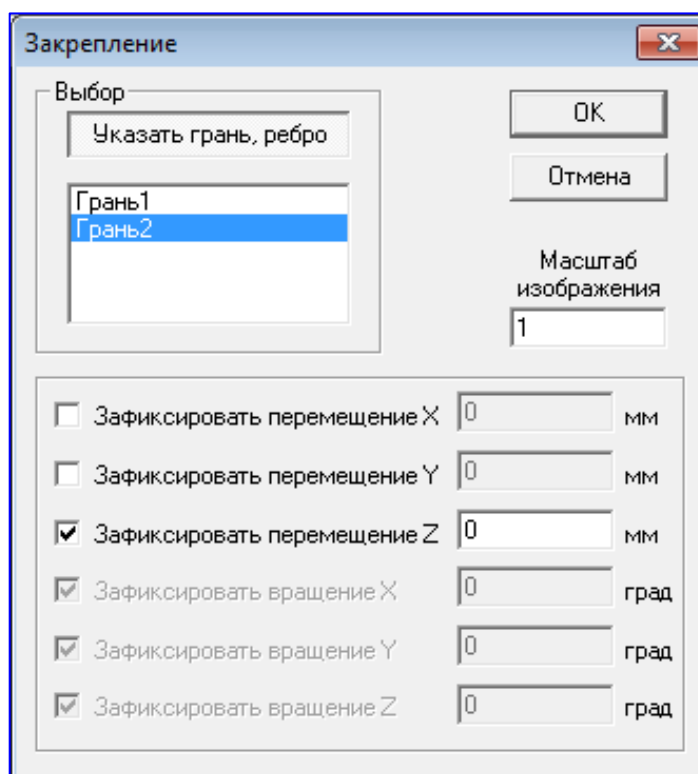



Рисунок 3.10 – Диалоговое окно команды «Закрепление»

Щелчком левой кнопки мыши выбираем необходимый для закрепления объект (грань или ребро), после чего выбранный объект будет занесен в соответствующий список. Затем нужно указать тип закрепления этого объекта, разрешив или запретив его перемещения и повороты вокруг глобальных осей координат – это делается с помощью группы полей, расположенных в нижней части диалогового окна «**Закрепления**» в результате таких действий на выбранной поверхности появятся специальные значки, показывающие, что заданы соответствующие закрепления, а сама операция будет добавлена в **Дерево операций**. С помощью задания в поле ввода **Масштаб изображения** масштабного коэффициента, можно изменить размер значков показываемых опор, если они слишком велики / малы по сравнению с размерами детали.

В рассматриваемом примере нижняя плоскость опоры (см. рисунок 3.2) крепится к горизонтальной плоскости с помощью болтов, поэтому при моделировании целесообразно закрепить нижнюю плоскость детали по координате Z , а в посадочных отверстиях нижних болтов запретить перемещения по осям X и Y .

Для создания закрепления на каком-либо объекте (грани или ребре) необходимо привести курсор на этот объект и щелкнуть на нем левой кнопкой мыши, после чего выбранный объект будет занесен в соответствующий список. Затем нужно указать тип закрепления этого объекта, разрешив или запретив его перемещения и повороты вокруг глобальных осей координат – это делается с помощью группы полей, расположенных в нижней части диалогового окна «**Закрепления**». В результате этих действий на выбранной поверхности появятся специальные значки, показывающие, что заданы соответствующие закрепления, а сама операция будет добавлена в **Дерево операций**.

Аналогично задаем закрепления по осям X и Y в отверстиях болтов основания (указываем цилиндрические поверхности).

Для перехода в режим задания *переменной нагрузки*, действующей на цилиндрическую рабочую поверхность (см. рисунок 3.1) опоры подшипника скольжения в направлении, противоположном оси Z , нажимаем кнопку «**Переменная нагрузка**» , находящуюся на панели инструментов «**Нагрузки**». Открывается диалоговое окно «**Переменная нагрузка**» (рисунок 3.11), с помощью которого можно задать силовые факторы, действующие на выделенный объект (грань).

Выделение объекта, как обычно, производится щелчком левой кнопкой мыши после предварительного наведения курсора на этот объект. Задание переменной нагрузки происходит *относительно базовой плоскости*. В рассматриваемом примере в качестве базовой целесообразно выбрать плоскость верхней части опоры подшипника, поскольку именно в этой плоскости значение давления равно нулю. Задание базовой плоскости выполняется следующим образом. Сначала нужно нажать кнопку «**Указать плоскость**» и щелкнуть левой кнопкой мыши на одной из верхних граней. Появится надпись, что *плоскость выбрана*.

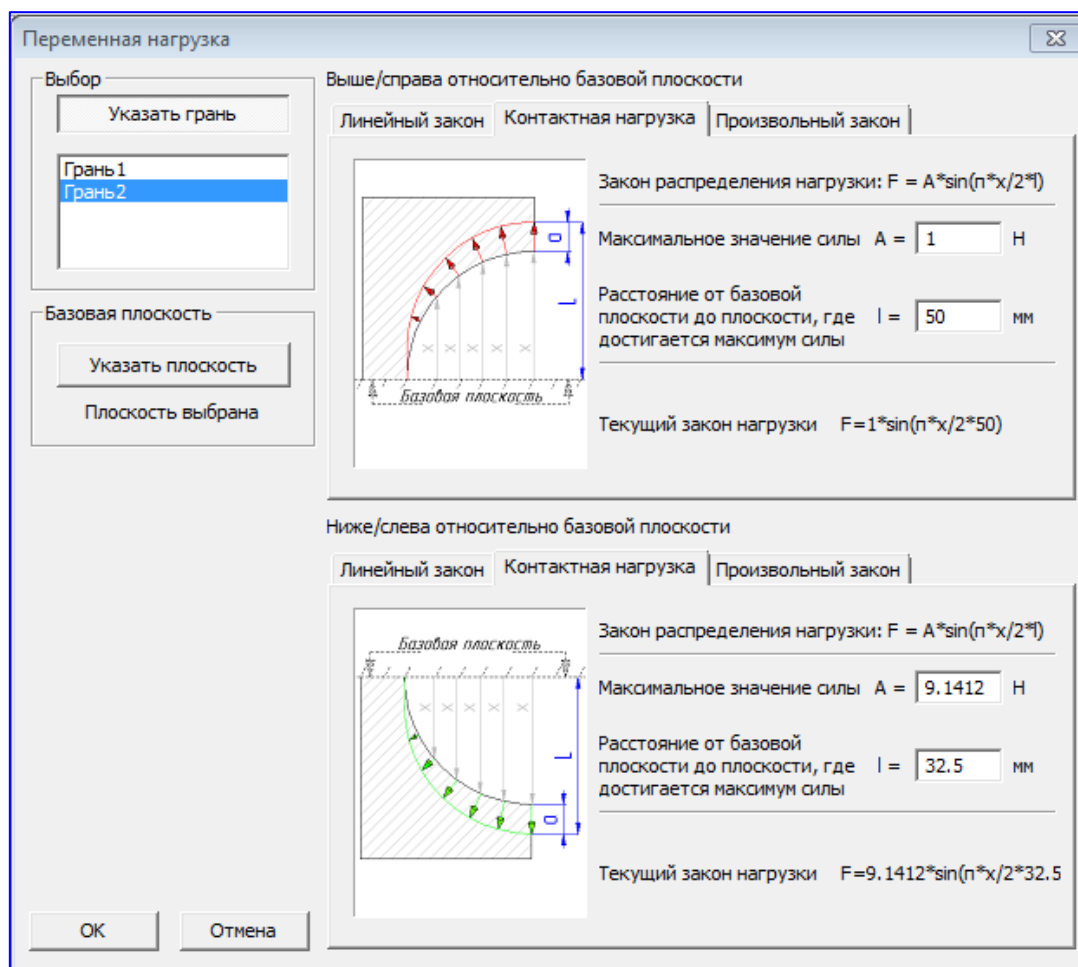


Рисунок 3.11 – Диалоговое окно команды «Переменная нагрузка»

Далее следует нажать кнопку «**Указать грань**» и из группы параметров *выбор грани* выбрать поверхности подшипника скольжения, к которым будет приложена переменная нагрузка, действующая со стороны подшипника. Выделение объекта, как обычно производится щелчком левой кнопки мыши после предварительного наведения курсора на этот объект.

Далее выбираем вкладку «**Контактная нагрузка**», позволяющая приложить нагрузку, сориентировав ее относительно базовой плоскости.

Если нагрузка задается в направлении нормали к базовой плоскости, то ее ориентация выбирается *выше / справа относительно базовой плоскости*, а если в противоположном – то *ниже слева*.

В рассматриваемом случае нормаль к выбранной плоскости (как и к поверхности детали) направлена противоположно оси Z глобальной системы координат, в то время как давление на подшипник действует в противоположном направлении этой оси. Следовательно, нагрузку нужно задавать *ниже / слева* выбранной плоскости.

В поле ввода «**Максимальное значение силы A = 9,1412**» вкладки «**Контактная нагрузка**» нужно записать максимальное значение силы на контактную поверхность опоры при нагружении вала подшипника усилием. Это значение определяется по формуле

$$q_{\max} = \frac{4F_{\Sigma}}{\pi b d} = \frac{4 \cdot 14 \cdot 10^3}{30 \cdot 65 \cdot 3,14} = 9,1412 \text{ Н/мм}^2,$$

где d – диаметр вала, b – ширина опорной поверхности подшипника.

Расстояние от базовой плоскости, где достигается максимум силы, равно радиусу цилиндрической опорной поверхности, следовательно, в соответствующее поле вкладки записываем $l = 32,5 \text{ мм}$.

После задания этих параметров переменной нагрузки в нижней части вкладки появится графическое изображение текущего закона распределения нагрузки. Если нажать кнопку «Ок», то на детали возникнет изображение переменной нагрузки, а в дерево операции добавится соответствующая операция (рисунок 3.12).

На этом задание закреплений модели и приложение к ней нагрузок заканчивается.

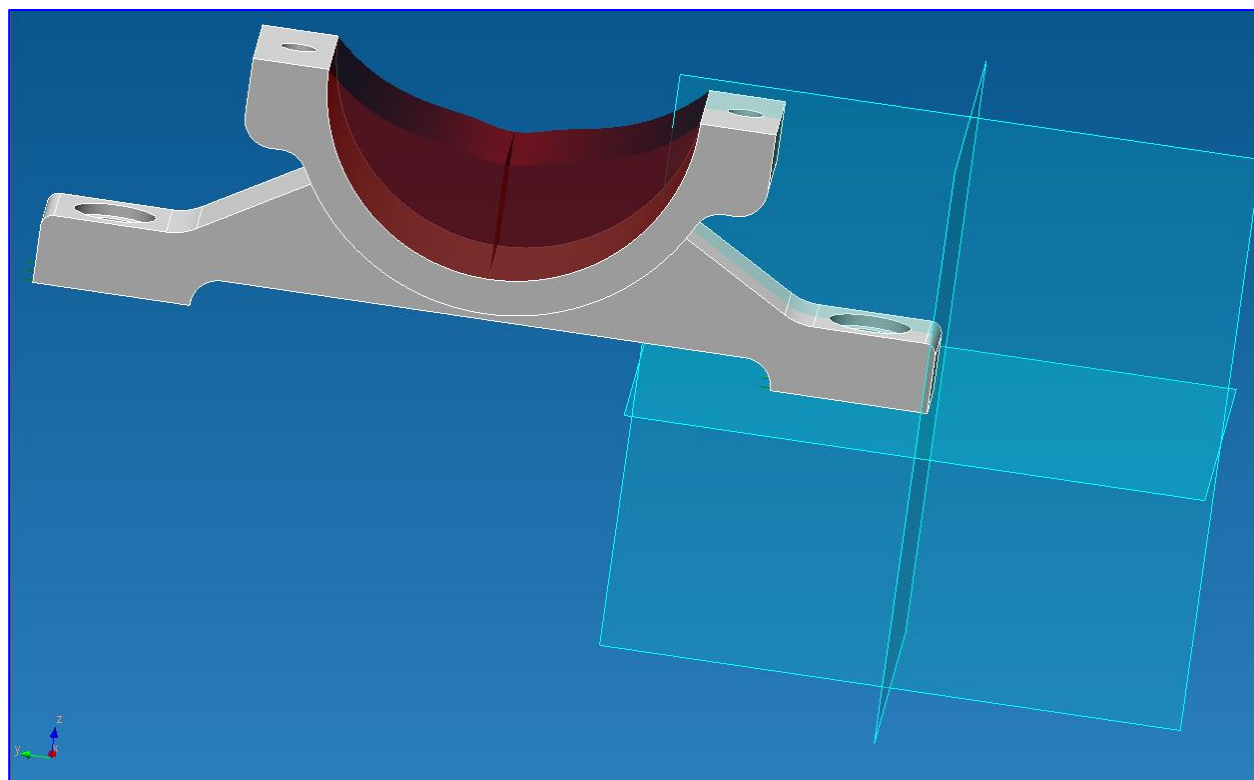



Рисунок 3.12 – Изображение переменной нагрузки на детали

3.3 Задание параметров материала

Перед выполнением расчета необходимо присвоить всем объемным элементам созданной модели параметры материала, предварительно добавив нужный материал в *список материалов*. Делается это следующим образом.

Вначале на панели инструментов «Управление» нажимаем кнопку «Материал» . Затем в открывшемся диалоговом окне «Материал» нажимаем кнопку «Добавить...», после чего открывается диалоговое окно «Материал» (рисунок 3.13).

С помощью полей ввода этого окна можно самостоятельно задать необходимые параметры материала, записывая их в поля ввода, или выбрать параметры стандартного материала, обратившись к базе нажатием кнопки «ДВ». Выбранные тем или иным способом параметры затем будут присвоены элементам модели.

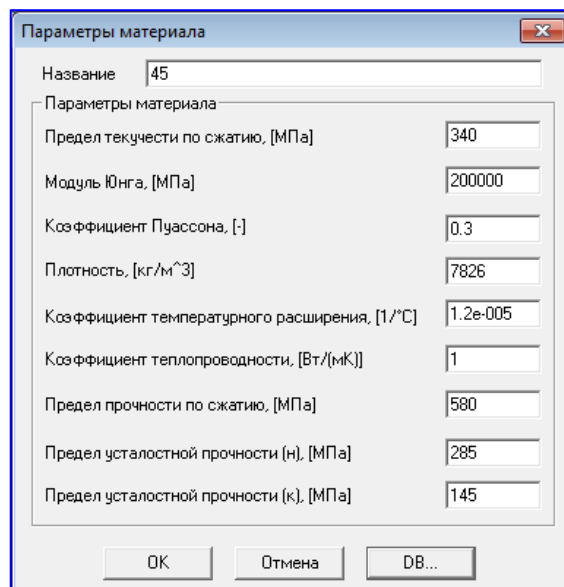


Рисунок 3.13 – Диалоговое окно команды «Материал»

В рассматриваемом случае в качестве материала по условию задачи следует взять *Сталь 45*.

Этот материал имеется в базе данных, поэтому нажимаем кнопку «ДВ...» и в открывшемся диалоговом окне «База данных по материалам» (рисунок 3.14) выбираем из выпадающего списка *Типы материалов – Сталь конструкционная (прокат толстолистовой)*, а из выпадающего списка *Подгруппы – В нормализованном состоянии*.

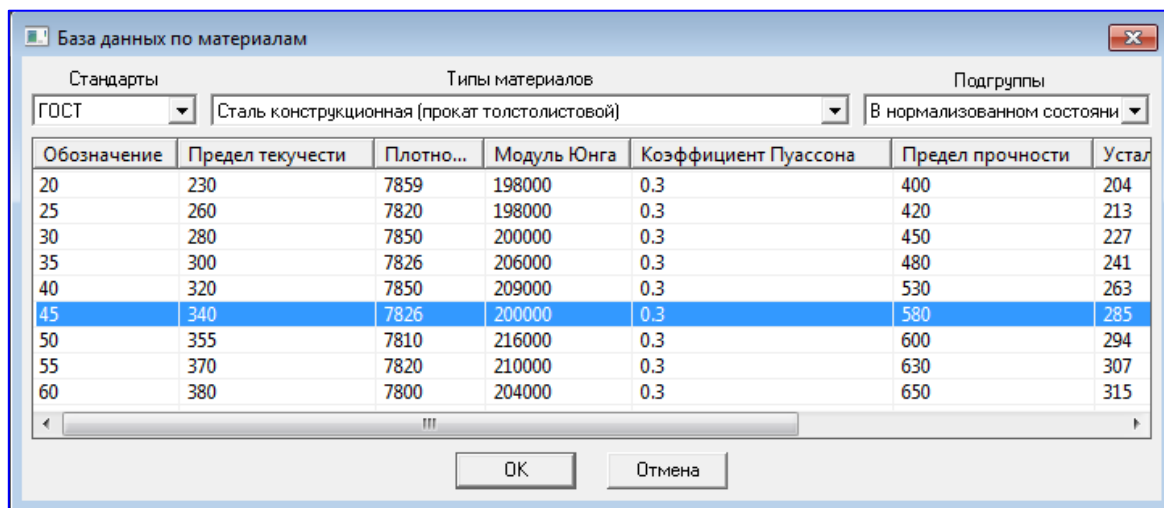



Рисунок 3.14 – Диалоговое окно команды «База данных по материалам»

Далее в окне со списком материалов выбираем **45** и нажимаем кнопку «ОК». После этого название и параметры выбранной стали переписутся в соответствующие поля ввода диалогового окна «Материал» (см. рисунок 3.13), а новый материал появляется в списке материалов рассматриваемой модели.

Для того чтобы присвоить свойства материала *Сталь 45* всем элементам модели конструкции, следует в диалоговом окне «**Материалы**» вначале выделить этот материал, щелкнув по его названию левой кнопкой мыши, а затем нажать кнопку «**Задать всем**». В результате всем конечным элементам модели присвоятся свойства материала *Сталь 45*.

Таким образом, модель опоры подшипника скольжения полностью подготовлена к разбиению на конечные элементы и последующему проведению прочностного расчета.

3.4 Разбиение объемной модели на конечные элементы

Нажимаем кнопку «**КЭ сетка**»  на панели инструментов «**Управление**» и в поле ввода «**Максимальная длина стороны элемента**» открывшегося диалогового окна «**Параметры разбиения твердотельной модели**» (рисунок 3.15) указываем величину шага разбиения (которая по умолчанию равна 5 мм). Шаг разбиения выбирается таким, чтобы:

- 1) в любом сечении модели было не менее 6 конечных элементов по толщине;
- 2) окружности и дуги созданной модели были описаны корректно.

В рассматриваемом примере для обеспечения выполнения этих условий достаточно выбрать шаг, равный **2 мм**.

При разбиении модели воспользуемся режимом **Автовыбор**, оставив переключатель группы *Алгоритм разбиения на объемные конечные элементы* в установленном по умолчанию положении.

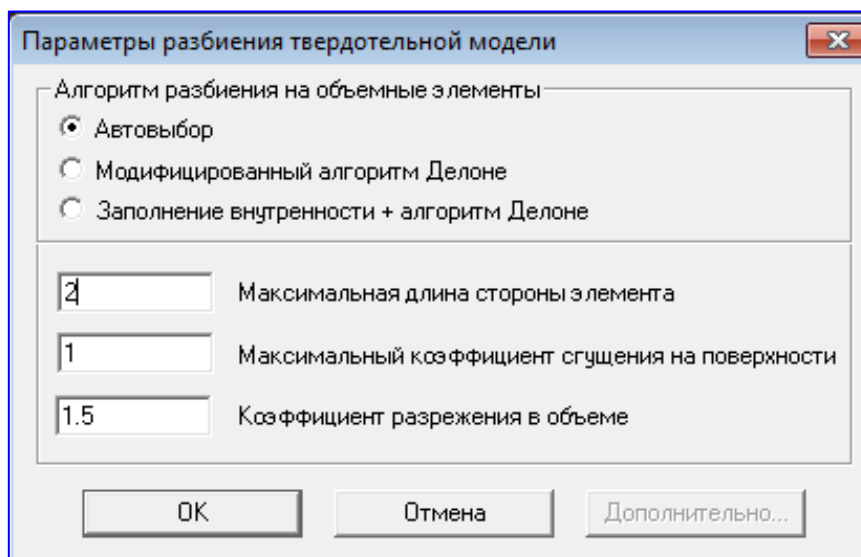


Рисунок 3.15 – Параметры разбиения твердотельной модели

Если у модели имеются поверхности разной кривизны, то возможно появление концентраторов напряжений. В этом случае при разбиении целесообразно использовать конечные элементы различной длины. Чтобы это реализовать, нужно задать в соответствующем поле ввода окна «**Параметры**

разбиения твердотельной модели» так называемый **Максимальный коэффициент сгущения на поверхности**. Число, записанное в это поле, показывает, во сколько раз может быть уменьшена максимальная длина стороны элемента в местах изменения геометрии модели. Если в этом поле записать единицу, то сгущение отсутствует, т. е. все конечные элементы будут иметь одинаковые параметры.

Для того, чтобы уменьшить общее количество конечных элементов в модели, в соответствующее поле ввода можно записать **Коэффициент разряжения в объеме**, который показывает, во сколько раз внутри объема модели может быть увеличена длина стороны конечного элемента. После нажатия кнопки «ОК» начинается процедура разбиения модели. Сгенерированная конечно-элементная (КЭ) сетка открывается в отдельном окне, и если по каким-либо параметрам она не устраивает пользователя, то это окно может быть закрыто, а разбиение произведено заново.

В левом верхнем углу окна «**Конечно-элементная сетка**» открывается специальное диалоговое окно инструмента «**Глубина просмотра**», в котором указывается количество объемных конечных элементов, получившихся в результате разбиения, а также инструмент, позволяющий визуально контролировать качество полученных конечных элементов по объему детали. Для проверки качества полученных конечных элементов нужно с помощью мыши перемещать движок глубины просмотра в направлении слева направо. Вслед за смещением движка плоскость отсечения конечных элементов будет удаляться. Конечные элементы, находящиеся перед этой плоскостью, не будут показываться на экране монитора. Это дает возможность посмотреть на элементы, находящиеся внутри сплошного материала, и оценить их качество. Для того чтобы закрыть диалоговое окно «**Глубина просмотра**», нужно сделать это окно активным, щелкнув на нем левой кнопкой мыши, а затем нажать кнопку Esc на клавиатуре.

Полученная КЭ-сетка вместе с действующими на модель нагрузками и заданными опорами (или без них) может быть сохранена в отдельном файле, а затем импортирована в модуль прочностного расчета APM Structure3D. Можно также передать построенную модель непосредственно в APM Structure 3D без ее промежуточного сохранения.

3.5 Выполнение расчета

Для запуска модели конструкции на расчет следует выбрать в меню **Расчет** пункт **Расчет...** и в открывшемся диалоговом окне «**Расчет**» отметить флажком тот тип расчета, который необходимо выполнить – в рассматриваемом случае это **Статический расчет**. После выполнения расчета можно визуализировать его результаты расчета в графическом или числовом виде. В качестве примера на рисунок 3.16 представлена карта напряжений, возникающих в модели конструкции опоры подшипника.

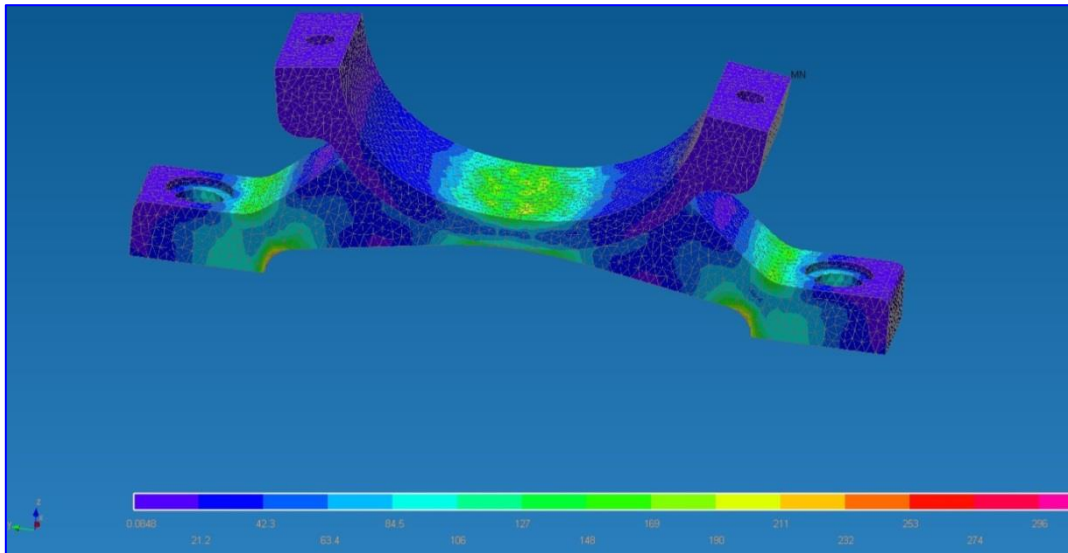


Рисунок 3.16 – Карта результатов после выполнения прочностных расчетов

Контрольная работа №3

Выполнение статического расчёта головки торцевого ключа построенного с использованием редактора APM Studio

Выполнить статический расчет головки торцевого ключа, изображенного на рисунке 3.17. К четырехгранному хвостовику применен вращающий момент величиной 100 Н м. Опорой служит отвинчиваемая гайка, на которую надевается торцевой ключ.

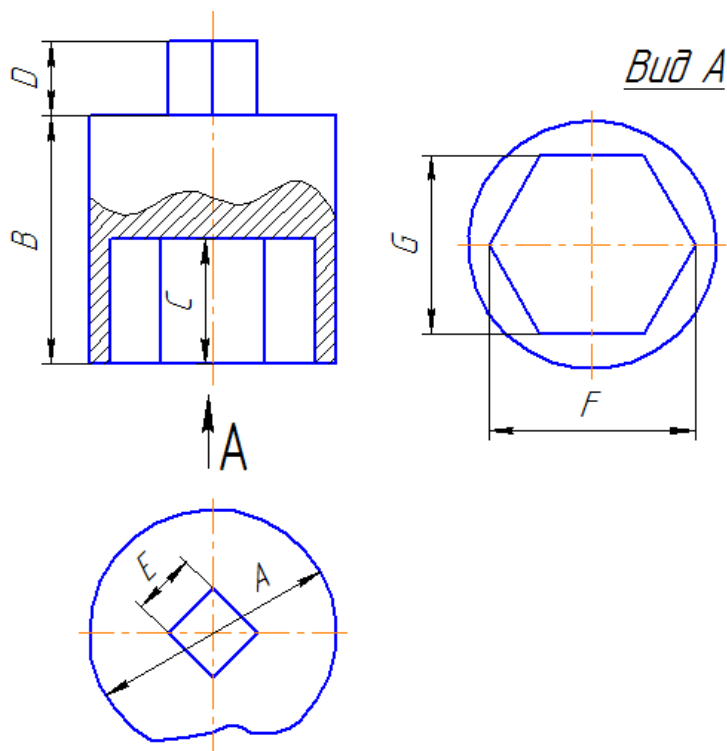


Рисунок 3.17 - Головка торцевого ключа

Перед выполнением расчёта твердотельной модели головки торцевого ключа необходимо внимательно прочитать ниже представленную информацию.

Моделирование вращающего момента с помощью пары сил.

При моделировании внешнего нагружения твердотельных моделей невозможно явным образом учесть действие моментов. Моделировать действие вращающего момента можно двояко: заменяя его эквивалентной парой сил или выполняя дополнительные построения вспомогательных стержней.

Рассмотрим порядок подготовки к расчёту модели головки торцевого гаечного ключа. Головка ключа имеет четырёхгранный выступ, на который действует внешний вращающий момент. Этот момент передаётся на гайку через внутреннюю опорную поверхность шестигранного паза, расположенного в нижней части головки.

При подготовке построенной модели к расчёту действие момента заменяем эквивалентной парой сил, а взаимодействие головки и гайки – закреплением внутренних граней опорной поверхности шестигранного паза.

Поскольку к узлам объёмных элементов модели нельзя приложить сосредоточенные моменты, то вращающий момент задаём с помощью 12-ти пар сил, действующих на все узлы противоположных ребер четырёхгранного выступа. Предварительно необходимо аналитически рассчитать величины всех заменяющих моменты пар сил. В рассматриваемом случае все эти силы ввиду симметрии модели одинаковы и равны 1/12 отношения внешнего момента и длины плеча. С учётом этого необходимо рассчитать величины всех заменяющих моменты пар сил.

Таблица 3.1 - Параметры торцевого ключа по вариантам

Вариант	Цилиндрическая часть головки торцевого ключа			Четырёхгранный хвостовик головки		Диаметр описанной окружности шестигранника	Размер головки	Вращающий момент
	Наружный диаметр	Высота без хвостовика	Глубина шестигранного выреза	Высота	Длина грани			
	A	B	C	D	E	F	G	
	мм							H*M
1	26	34	20	15	13	20	17	60
2	28	36	21	15	13	22	19	65
3	31	38	22	15	13	25	22	70
4	34	40	23	15	13	28	24	75
5	38	42	24	15	13	31	27	80

Вариант	Цилиндрическая часть головки торцевого ключа			Четырёхгранный хвостовик головки		Диаметр описанной окружности шестигранника	Размер головки	Вращающий момент
	Наружный диаметр	Высота без хвостовика	Глубина шестигранного выреза	Высота	Длина грани			
	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	
6	42	44	25	15	13	35	30	85
7	45	46	25	15	13	37	32	90
8	47	48	25	15	13	39	34	95
9	50	50	25	15	13	42	36	100
10	55	51	26	15	13	47	41	110
11	64	52	26	15	13	53	46	120
12	70	53	27	15	13	58	50	130
13	80	54	27	15	13	64	55	140
14	85	55	28	15	13	69	60	150
15	91	56	28	15	13	75	65	160
16	99	57	29	15	13	81	70	170
17	104	58	29	15	13	87	75	180
18	110	60	30	15	13	92	80	190
19	70	53	27	15	13	58	50	195
20	80	54	27	15	13	64	55	200
21	85	55	28	15	13	69	60	205
22	91	56	28	15	13	75	65	210
23	99	57	29	15	13	81	70	215
24	104	58	29	15	13	87	75	220
25	110	60	30	15	13	92	80	225
26	99	57	29	15	13	81	70	230
27	104	58	29	15	13	87	75	235
28	110	60	30	15	13	92	80	240
29	70	53	27	15	13	58	50	245
30	80	54	27	15	13	64	55	250

Лабораторная работа №4

Расчет спиральной пружины работающей на сжатия в модуле APM Spring

Цель работы: Научиться выполнять расчёт пружин в модуле APM Spring на общем примере и по индивидуальному заданию.

Пример выполнения расчёта

Условие. Выполнить проектировочный расчет пружины сжатия круглого сечения со следующими параметрами:

- сила пружины при рабочей нагрузке – 800 Н;
- сила пружины при предварительной деформации – 120 Н;
- рабочий ход – 45 мм;
- класс пружины – 2-й;
- материал – пружинная проволока 2 класса;
- диаметр проволоки – 5 мм.

Алгоритм выполнения расчета

1. Выбор типа пружины.
2. Выбор типа расчета: проектировочный, проверочный или подбор стандартной пружины по ГОСТ 13765-86.
3. Задание основных параметров.
4. Задание дополнительных параметров (если необходимо).
5. Выполнение расчета.
6. Просмотр результатов расчета.
7. Генерация чертежа спроектированной пружины.
8. Вывод результатов расчета на печать.
9. Вывод результатов расчета в файл формата *.rlf.

4.1 Выбор типа пружины.

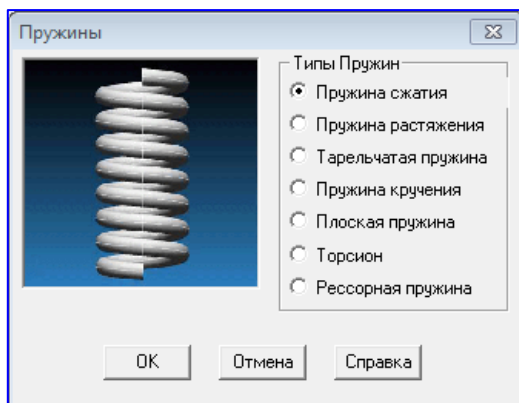


Рисунок 4.1 – Выбор типа пружины

Модуле APM Spring предназначен для выполнения расчетов: пружины сжатия, растяжения, тарельчатой, кручения, плоские прямоугольные, торсионы и рессорные пружины.

Тип пружины выбирается из меню **Тип / Пружина** – в открывшемся диалоговом окне «**Пружина**» указывая на «**Пружина сжатия**», рисунок 4.1.

4.2 Выбор типа расчета.

В меню **Тип / Расчеты** выбираем **Проектировочный** (рисунок 4.2).

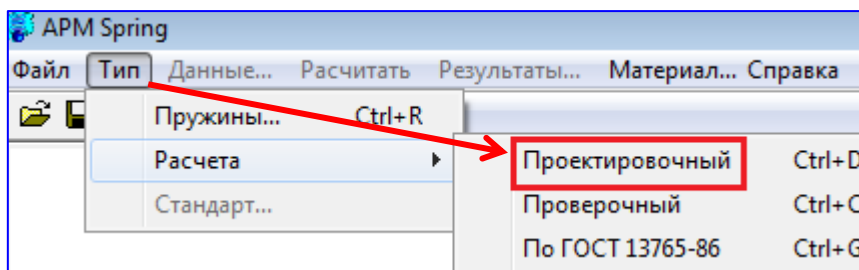


Рисунок 4.2 – Выбор типа расчета

4.3 Задание основных параметров.

Для ввода исходных данных открываем меню **Данные...** и в поля ввода диалогового окна **«Основные параметры»** (рисунок 4.3) заносим запрашиваемые параметры в соответствии с исходными данными (кроме значения диаметра проволоки):

- «Сила пружины при рабочей нагрузке» – 800 [Н];
- «Сила пружины при предварительной деформации» – 120 [Н];
- «Рабочий ход» – 45 [мм].

Из выпадающего списка **«Материал»** выбираем материал пружины - **Пружинная проволока 2 класса**;

В группе параметров **Сечение** выбираем – **Круг**.

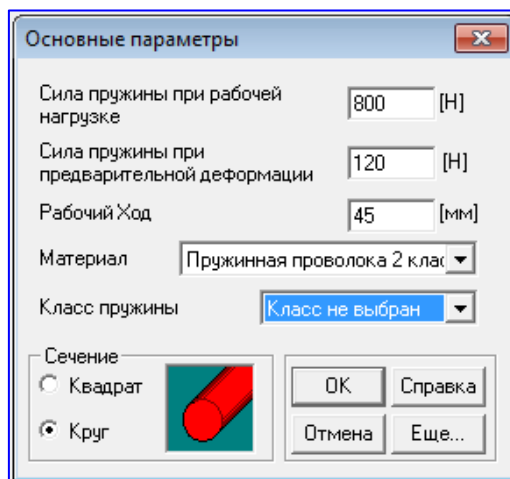


Рисунок 4.3 – Диалоговое окно «Основные параметры»

4.4 Задание дополнительных параметров

В данном случае в качестве дополнительного параметра выступает диаметр проволоки. Для его задания в окне **«Основные параметры»** нажимаем кнопку **«Еще...»** и в поле ввода **«Диаметр проволоки»** открывшегося диалогового окна **«Дополнительные параметры»** вводим значение требуемого диаметра проволоки – 5 мм) (рисунок 4.4). Поля с остальными параметрами оставляем незаполненными (нулевыми).

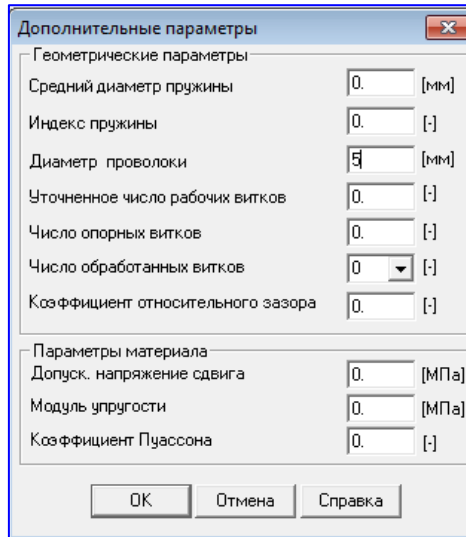




Рисунок 4.4 – Задание дополнительных параметров

Замечание. Из параметров «Средний диаметр пружины», «Индекс пружины» и «Диаметр проволоки» группы «Геометрические параметры» может быть независимо задан только один, поскольку все эти величины связаны между собой функциональными зависимостями.

4.5 Выполнение расчета

Расчет происходит после нажатия кнопки «**Рассчитать**»  (меню «**Рассчитать**»). После окончания расчета становится активной кнопка «**Результаты...**» (меню «**Результаты...**»).

4.6 Просмотр результатов расчета.

Для просмотра результатов расчета нажимаем кнопку «**Результаты**»  (меню **Результаты...**). В открывшемся диалоговом окне «**Пружина сжатия**» показываются как исходные данные, для которых проводился расчет, так и результаты расчета (рисунок 4.5).

Исходные данные		Результаты	
Параметр пружины	Значение	Параметр пружины	Значение
Сила при рабочей нагрузке, [Н]	800.	Фактический индекс пружины, [-]	6.92
Сила при предварит. деформации, [Н]	120.	Средний диаметр пружины, [мм]	34.61
Рабочий ход, [мм]	45.	Наружный диаметр пружины, [мм]	39.61
Класс пружины, [-]	2.	Диаметр проволоки, [мм]	5.
Средний диаметр пружины, [мм]	Не задано	Сила при максимальной деформации, [...]	888.89
Индекс пружины, [-]	Не задано	Число рабочих витков, [-]	9.5
Диаметр проволоки, [мм]	5.	Рабочий ход, [мм]	44.57
Число рабочих витков, [-]	Не задано	Длина пружины в свободном состояни...	110.76
Число опорных витков, [-]	0.	Длина пружины при предвар. нагрузке...	102.89
Число обработанных витков, [-]	0.	Длина пружины при рабочей нагрузке, ...	58.33
Коэффициент относит. зазора, [-]	Не задано	Длина пружины при макс. нагрузке, [мм]	52.5
Допуск. напряжение сдвига, [МПа]	Не задано	Длина развертки пружины, [мм]	1038.36
Модуль упругости, [МПа]	Не задано	Длина заготовки пружины, [мм]	1111.04
Коэффициент Пуассона, [-]	Не задано	Шаг в свобод. состоянии, [мм]	11.13
Материал	Пружинная пр...	Шаг в нагруженном состоянии, [мм]	9.69
		Деформация при предварительной наг...	7.86
		Деформация при рабочей нагрузке, [мм]	52.43
		Деформация при максимальной нагру...	58.26
		Угол подъема винтовой линии, [град]	5.85
		Потенциальная энергия, [Дж]	17.83
		Допустимое напряжение сдвига, [МПа]	660.
		Критическая скорость, [м/с]	2.11

Рисунок 4.5 – Просмотр диалогового окна «Результаты расчета»

Для генерации чертежа спроектированной пружины в диалоговом окне «Пружина сжатия» необходимо нажать кнопку «Чертеж». После этого откроется диалоговое окно «Черчение» (рисунок 4.6), в котором нужно сделать некоторые настройки.

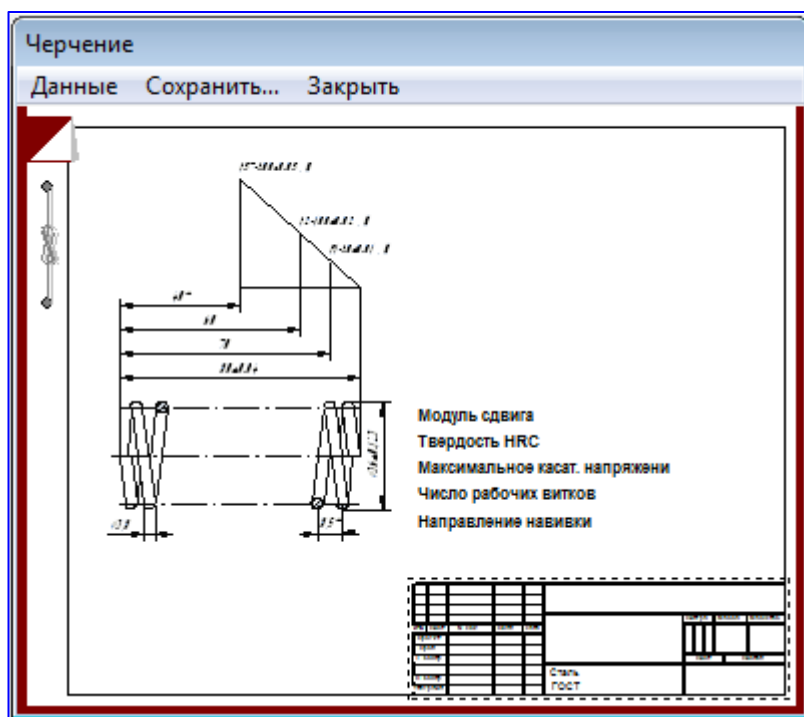


Рисунок 4.6 - Диалоговое окно «Черчение»

4.7 Генерация чертежа спроектированной пружины.

4.7.1 Выбор типа опорных витков пружины. Двойной щелчок левой

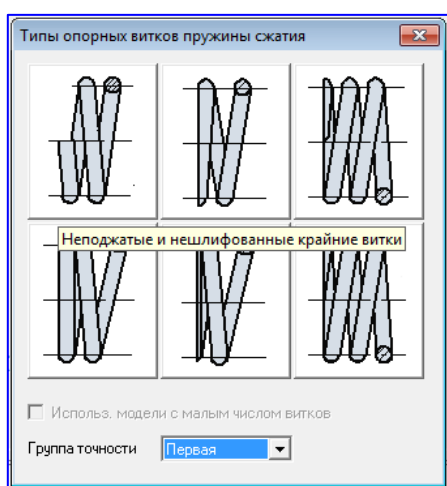


Рисунок 4.7 – Диалоговое окно «Типы опорных витков пружины сжатия»

кнопкой мыши в области изображения пружины (меню **Данные / Построение...**) вызывает открытие диалогового окна «**Типы опорных витков пружины сжатия**» (рисунок 4.7), с помощью которого можно выбрать тип опорных витков. При наведении указателя мыши на различные типы появляется всплывающая подсказка. После выбора одного из типов опорных витков это окно закрывается.

4.7.2 Задание технических требований. Двойной щелчок левой кнопки мыши в области списка с техническими требованиями (меню **Данные / Технические требования...**) вызывает открытие диалогового окна «**Технические**

требования» (рисунок 4.8). Пользователь может изменить параметры, записанные в полях с белым фоном.

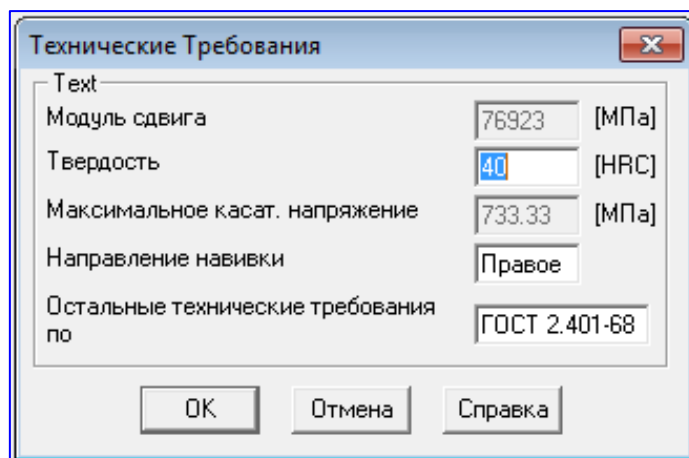


Рисунок 4.8 – Диалоговое окно «Технические требования»

4.7.3 Заполнение штампа. Двойным щелчком левой кнопкой мыши в области штампа чертежа (меню **Данные / Штамп...**) открываем диалоговое окно «**Заполнение штампа**» (рисунок 4.9), в полях ввода которого можно указать фамилии исполнителей и дату, а также выбрать масштаб чертежа, формат чертежа и т. п.

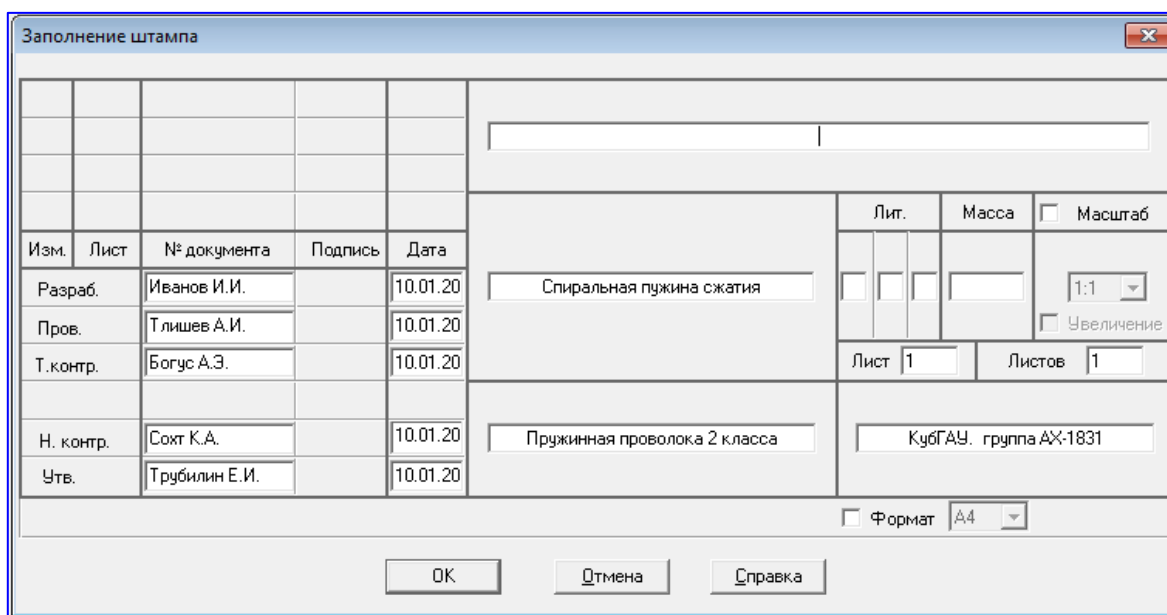


Рисунок 4.9 – Образец заполнения штампа

4.7.4 Сохранение файла чертежа. Для завершения генерации чертежа необходимо в окне «**Черчение**» (меню **Сохранить...**) сохранить этот чертеж в виде файла с расширением ***.agr**. После этого произойдет запуск плоского графического редактора **APM Graph**, в окне которого и будет показан чертеж рассчитанной пружины (рисунок 4.10).

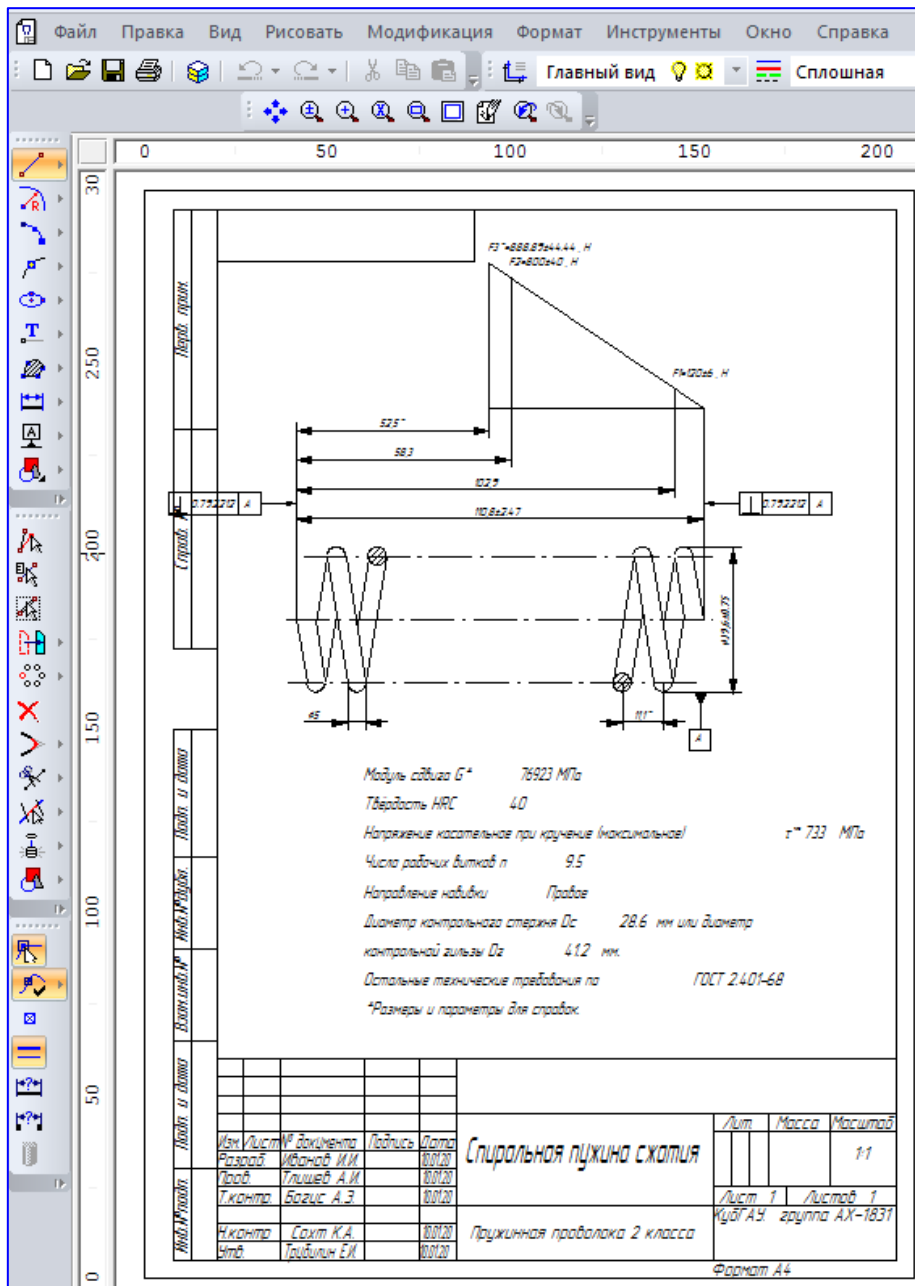



Рисунок 4.10 – Плоский чертёж пружины в графического редактора APM Graph

4.8 Вывод результатов расчета на печать.

Для вывода результатов расчета на печать нужно нажать в основном окне программы кнопку «Печать»  (меню **Файл/Печать**).

4.9 Вывод результатов расчета в файл формата *.rtf.

У пользователя есть возможность вывести и исходные данные, и результаты расчета в текстовый файл формата ***.rtf**, который может быть открыт с помощью большинства современных текстовых редакторов. Для вывода результатов в файл формата ***.rtf** следует выбрать в меню **Файл / Сохранить...** тип файла ***.rtf** и сохранить файл в этом формате. Ниже представлены результаты расчета сохраненные в формате ***.rtf**.



APM Spring

Тип пружины:

Пружина сжатия.

Тип расчета:

Проектировочный.

Основные параметры

<i>Сила при рабочей нагрузке, [Н]</i>	800.
<i>Сила при предварит. деформации, [Н]</i>	120.
<i>Рабочий ход, [мм]</i>	45.
<i>Класс пружины, [-]</i>	2.
<i>Материал</i>	Пружинная проволока 2 класса

Дополнительные параметры

<i>Средний диаметр пружины, [мм]</i>	Не задано
<i>Индекс пружины, [-]</i>	Не задано
<i>Диаметр проволоки, [мм]</i>	5.
<i>Число рабочих витков, [-]</i>	Не задано
<i>Число опорных витков, [-]</i>	0.
<i>Число обработанных витков, [-]</i>	0.
<i>Коэффициент относит. зазора, [-]</i>	Не задано
<i>Допуск. напряжение сдвига, [МПа]</i>	Не задано
<i>Модуль упругости, [МПа]</i>	Не задано
<i>Коэффициент Пуассона, [-]</i>	Не задано

Результаты:

<i>Фактический индекс пружины, [-]</i>	6.92
<i>Средний диаметр пружины, [мм]</i>	34.61
<i>Наружный диаметр пружины, [мм]</i>	39.61
<i>Диаметр проволоки, [мм]</i>	5.
<i>Сила при максимальной деформации, [Н]</i>	888.89
<i>Число рабочих витков, [-]</i>	9.5
<i>Рабочий ход, [мм]</i>	44.57
<i>Длина пружины в свободном состоянии, [мм]</i>	110.76
<i>Длина пружины при предвар. нагрузке, [мм]</i>	102.89
<i>Длина пружины при рабочей нагрузке, [мм]</i>	58.33
<i>Длина пружины при макс. нагрузке, [мм]</i>	52.5
<i>Длина развертки пружины, [мм]</i>	1038.36
<i>Длина заготовки пружины, [мм]</i>	1111.04
<i>Шаг в свобод. состоянии, [мм]</i>	11.13
<i>Шаг в нагруженном состоянии, [мм]</i>	9.69
<i>Деформация при предварительной нагрузке, [мм]</i>	7.86
<i>Деформация при рабочей нагрузке, [мм]</i>	52.43
<i>Деформация при максимальной нагрузке, [мм]</i>	58.26
<i>Угол подъема винтовой линии, [град]</i>	5.85
<i>Потенциальная энергия, [Дж]</i>	17.83
<i>Допустимое напряжение сдвига, [МПа]</i>	660.
<i>Критическая скорость, [м/с]</i>	2.11

Контрольная работа №4

Выполнить проектировочный и проверочный расчеты пружин

Выполнить проектировочный и проверочный расчеты пружин с генерацией ее чертежа. Параметры выбираются пользователем из таблиц 4.1 – 4.8.



1.1 ÷ 1.8 пружина сжатия



2.1 ÷ 2.8 пружина растяжения



3.1 ÷ 3.8 тарельчатая пружина



4.1 ÷ 4.8 пружина кручения



5.1 ÷ 5.8 плоская пружина



6.1 ÷ 6.8 торсион



7.1 ÷ 7.8 рессорная пружина

Таблица 4.1 – Варианты к расчёту пружин в модуле APM Spring

Варианты	Обозначения пружин			
	1.1	3.1	5.1	7.1
№1	1.1	3.1	5.1	7.1
№2	1.2	3.2	5.2	7.2
№3	1.3	3.3	5.3	7.3
№4	1.4	3.4	5.4	7.4
№5	1.5	3.5	5.5	7.5
№6	1.6	3.6	5.6	7.6
№7	1.7	3.7	5.7	7.7
№8	1.8	3.8	5.8	7.8
№9	2.1	4.1	5.8	6.1
№10	2.2	4.2	5.7	6.2
№11	2.3	4.3	5.6	6.3
№12	2.4	4.4	5.5	6.4
№13	2.5	4.5	5.4	6.5
№14	2.6	4.6	5.3	6.6
№15	2.7	4.7	5.2	6.7
№16	2.8	4.8	5.1	6.8
№17	1.1	3.8	4.8	5.8
№18	1.2	3.7	4.7	5.7
№19	1.3	3.6	4.6	5.6
№20	1.4	3.5	4.5	5.5
№21	1.5	3.4	4.4	5.4
№22	1.6	3.3	4.3	5.3
№23	1.7	3.2	4.2	5.1
№24	1.8	3.1	4.1	5.4
№25	1.8	3.8	5.6	7.2
№26	2.1	4.2	5.3	6.5
№27	2.8	4.7	5.2	6.2
№28	1.1	3.6	4.7	5.4
№29	1.5	3.5	4.1	5.7
№30	1.6	3.2	4.8	6.3

Таблица 4.2 – Исходные данные для расчёта пружины сжатия

№ варианта	Сила пружины при		Рабочий ход	Материал	Класс пружины (1; 2 и 3)	Сечение	Диаметр проволоки/Сторона квадрата	Число обработанных витков (0; 1; 1,5)	Типы опорных витков пружины сжатия	Группа точности (первая; вторая и третья)
	рабочей нагрузке	предварительной деформации					мм			
			Н				мм			
1.1	1200	180	50	Пружинная проволока 3 класса	Пружина 2 класса	круг	8	1	Не поджатые и нешлифованные крайние витки	Третья
1.2	1900	220	60	Вольфрамовая сталь	Пружина 1 класса	квадрат	8	1,5	Поджато 1/2 витка, зашлифовано 1/2 дуги окружности	Первая
1.3	14000	360	40	Пружинная проволока 1 класса	Пружина 3 класса	круг	18	0	Пружина для станочных приспособлений по ГОСТ 13165-67	Вторая
1.4	800	120	15	Марганцевая сталь	Пружина 1 класса	квадрат	8	1	Поджато 3/4 витка, зашлифовано 3/4 дуги окружности	Первая
1.5	22000	450	80	Кремниевая сталь	Пружина 2 класса	круг	20	1,5	Поджат целый виток, зашлифовано 3/4 дуги окружности	Третья
1.6	15000	320	55	Хромованадиевая сталь	Пружина 3 класса	квадрат	16	1	Поджат целый нешлифованный виток	Вторая
1.7	26000	650	90	Хроммарганцевая сталь	Пружина 2 класса	круг	24	0	Пружина для станочных приспособлений по ГОСТ 13165-67	Первая
1.8	18000	340	70	Рояльная проволока	Пружина 3 класса	квадрат	14	1,5	Поджат целый виток, зашлифовано 3/4 дуги окружности	Третья

Таблица 4.3 – Исходные данные для расчёта пружины растяжения

№ варианта	Сила пружины при		Рабочий ход	Материал	Класс пружины (1; 2 и 3)	Сечение	Диаметр проволоки/	Длина зацепов	Типы пружин растяжения. Диаграмма длин
	рабочей нагрузке	предварительной деформации					Сторона квадрата		
			Н				мм		
2.1	1600	450	30	Пружинная проволока 2 класса	Пружина 3 класса	круг	6	40	Зацепы открыты с одной стороны
2.2	1200	340	18	Кремниевая сталь	Пружина 1 класса	квадрат	10	30	Зацепы открыты с противоположной стороны
2.3	1800	320	22	Хроммарганцевая сталь	Пружина 1 класса	круг	8	32	Зацепы расположены под углом 90 град.
2.4	900	210	45	Рояльная проволока	Пружина 2 класса	квадрат	5	25	Зацепы открыты с противоположной стороны
2.5	2100	400	26	Пружинная проволока 3 класса	Пружина 3 класса	круг	8	40	Зацепы расположены под углом 90 град.
2.6	1400	300	24	Хромованадиевая сталь	Пружина 1 класса	квадрат	10	28	Зацепы открыты с одной стороны
2.7	1000	240	18	Вольфрамовая сталь	Пружина 3 класса	круг	6	32	Зацепы расположены под углом 90 град.
2.8	2200	380	45	Марганцевая сталь	Пружина 2 класса	круг	10	55	Зацепы открыты с одной стороны

Таблица 4.4 – Исходные данные для расчёта тарельчатой пружины

№ варианта	Сила пружины		Рабочий ход	Класс пружины (1; 2 и 3 класса)	Тип пружины (Без опорной поверхности и с опорной поверхностью)	Номер варианта для которого будет создан чертёж	Ширина бордюра	Вид краёв
	при рабочей нагрузке	при предварительной деформации						
	Н	Н						
3.1	1200	280	55	1 класса	Без опорной поверхности	5	10	Со скошенными краями
3.2	1500	320	60	3 класса	С опорной плоскостью	4	8	С нормальными краями
3.3	2400	450	75	2 класса	Без опорной поверхности	7	18	С нормальными краями
3.4	1800	380	90	3 класса	Без опорной поверхности	2	8	Со скошенными краями
3.5	2600	560	100	1 класса	С опорной плоскостью	8	10	С нормальными краями
3.6	2000	470	85	2 класса	Без опорной поверхности	2	14	С нормальными краями
3.7	1600	440	65	3 класса	С опорной плоскостью	7	16	Со скошенными краями
3.8	2900	800	120	1 класса	Без опорной поверхности	4	12	С нормальными краями

Таблица 4.5 – Исходные данные для расчёта пружины кручения

№ варианта	Момент пружины		Рабочий угол закручивания	Материал	Класс пружины (1, 2 и 3 класса)	Форма сечения (круг, квадрат)	Диаметр проволоки/ Сторона квадрата	Длина прицепов	Типы пружин кручения
	при рабочей нагрузке	при предварительной деформации							
	Нм	Нм	Град.						
4.1	250	30	45	Пружинная проволока 3 класса	Пружина 3 класса	круг	10	30	Диаграмма сил и угловых деформаций пружины
4.2	500	60	45	Вольфрамовая сталь	Пружина 2 класса	квадрат	8	40	Диаграмма сил и углов между зацепами пружины
4.3	750	95	90	Пружинная проволока 1 класса	Пружина 1 класса	квадрат	6	45	Диаграмма сил и углов между зацепами пружины
4.4	450	50	180	Марганцевая сталь	Пружина 1 класса	круг	8	35	Диаграмма сил и угловых деформаций пружины
4.5	1200	180	135	Кремниевая сталь	Пружина 3 класса	круг	12	50	Диаграмма сил и углов между зацепами пружины
4.6	900	120	180	Хромованадиевая сталь	Пружина 2 класса	квадрат	10	40	Диаграмма сил и угловых деформаций пружины
4.7	1500	300	180	Хроммарганцевая сталь	Пружина 3 класса	круг	12	60	Диаграмма сил и углов между зацепами пружины
4.8	650	80	135	Рояльная проволока	Пружина 1 класса	круг	6	35	Диаграмма сил и угловых деформаций пружины

Таблица 5. Исходные данные для расчёта плоской пружины

№ варианта	Максимальная сила	Длина пластины	Толщина пластины	Коэф. запаса статической прочности	Материал	Предел текучести при растяжении	Предел выносливости	Расстояние до отверстия	Диаметр отверстия	Длина заделки			
	P_{\max}	L									мм	мм	мм
	H	мм	мм	-							МПа	МПа	L_d
5.1	800	450	3	1,3	Вольфрамовая сталь	1550	525	50	12	65			
5.2	650	520	4	1,2	Хромованадиевая сталь	1150	375	70	16	55			
5.3	490	400	2	1,1	Кремнистая сталь	1350	440	25	8	40			
5.4	740	380	5	1,4	Марганцевая сталь	1450	480	40	10	50			
5.5	950	620	6	1,1	Кремнистая сталь	1500	515	80	18	70			
5.6	900	550	5	1,2	Хромованадиевая сталь	1480	500	75	16	60			
5.7	550	700	6	1,3	Хроммарганцевая сталь	1420	490	55	14	80			
5.8	750	440	3	1,1	Вольфрамовая сталь	1510	475	60	10	45			

Модуль упругости для всех пластин 210000 МПа

Таблица 6. Исходные данные для расчёта торсиона

№ варианта	Средний момент	Угол закручивания	Коэффициент запаса статической прочности	Материал	Предел текучести	Модуль упругости
	Нм	[град]	-	-	МПа	МПа
6.1	1000	12	1,1	Хромованадиевая сталь	950	83000
6.2	750	45	1,2	Марганцевая сталь	960	80000
6.3	1500	60	1,25	Кремнистая сталь	1000	75000
6.4	2200	45	1,1	Хромованадиевая сталь	850	83000
6.5	1800	65	1,25	Кремнистая сталь	1000	75000
6.6	2500	50	1,3	Вольфрамовая сталь	900	81000
6.7	900	45	1,1	Хроммарганцевая сталь	980	82000
6.8	1300	30	1,3	Вольфрамовая сталь	970	81000

1. Выполнив проектировочный расчёт торсиона, определить диаметр и длину торсиона

2. Используя результаты проектировочного расчёта выполнить проверочный расчёт торсиона

Таблица 7. Исходные данные для расчёта рессорной пружины

№ варианта	Статическая нагрузка с учётом груза	Общая длина рессоры	Требуемая жёсткость	Допускаемое напряжение в статике	Дополнительные параметры рессоры			Модуль упругости	Количество пластин полной длины	Материал
					Толщина пластины	Ширина пластины	Количество пластин			
	Н	мм	Н/мм	МПа	мм	мм	-	МПа	-	-
7.1	2000	1350	45	442,5	7	65	5	210000	1	50ХН
7.2	4000	1588	95	442,5	8,5	75	4	210000	1	50ХН
7.3	8000	1513	400	442,5	9	65	11	210000	1	50Х
7.4	16000	1360	600	442,5	12	90	13	210000	1	50ХН
7.5	7000	1150	110	392,5	8	75	9	210000	1	40ХН
7.6	8000	1640	350	442,5	10	75	7	210000	1	50Х
7.7	4000	744	80	417,5	8	50	3	210000	1	45ХН
7.8	16000	1100	750	442,5	12	90	10	210000	1	50ХН

Лабораторная работа №5

Расчет кулачкового механизма с поступательным роликовым толкателем в модуле АРМ Сам

Цель работы: Научиться выполнять расчёт кулачковых механизмов в модуле АРМ Сам на общем примере и при выполнении самостоятельных работ по индивидуальным заданиям.

Общий порядок расчета

1. Выбор типа кулачкового механизма.
2. Задание геометрических параметров кулачкового механизма.
3. Задание физических данных материалов кулачкового механизма.
4. Задание реализуемого кулачком закона движения.
5. Выполнение расчета
6. Просмотр результатов расчета.
7. Генерация чертежа спроектированного кулачка.
8. Вывод результатов расчета на печать или в файл формата *.rtf.

Задача

Выполнить расчет кулачкового механизма с поступательным роликовым толкателем. Исходные данные:

геометрические параметры:

- эксцентриситет – 20 мм;
- радиус ролика – 5 мм;
- длина направляющих — 300 мм;
- расстояние до центра — 400 мм;
- толщина кулачка — 20 мм;
- максимальный угол давления — 35° ;
- направление вращения кулачка — по часовой стрелке.

физические параметры:


- результирующая сила сопротивления — 200 Н;
- допустимое напряжение — 800 МПа;
- модуль упругости материала кулачка — 200 000 МПа;
- модуль упругости материала ролика — 200 000 МПа;
- коэффициент трения в высшей паре — 0,01;
- коэффициент трения в направляющих — 0,01;
- коэффициент запаса угла давления — 1.

Закон движения (функциональная зависимость перемещения толкателя от угла поворота кулачка)


перемещение толкателя как функция угла поворота кулачка, $y = y(x)$, имеет вид; $[y]=[мм], [x]=[рад]$.

Расчет кулачкового механизма с поступательным роликовым толкателем

5.1 Выбор типа кулачкового механизма

Нажимаем кнопку «**Выбор типа кулачка**»  (меню *Данные / Тип...*) и в открывшемся диалоговом окне «**Выбор типа кулачкового механизма**» выбираем в группе параметров *Поступательный толкатель* позицию «С роликом».

5.2 Задание геометрических параметров кулачкового механизма.

Нажимаем кнопку «**Ввод геометрических данных**» и  (меню *Данные / Геометрические данные...*) и в поля ввода открывшегося диалогового окна «**Геометрические данные для кулачка с роликовым толкателем**» (рисунок 5.1) записываем запрашиваемые параметры в соответствии с исходными данными:

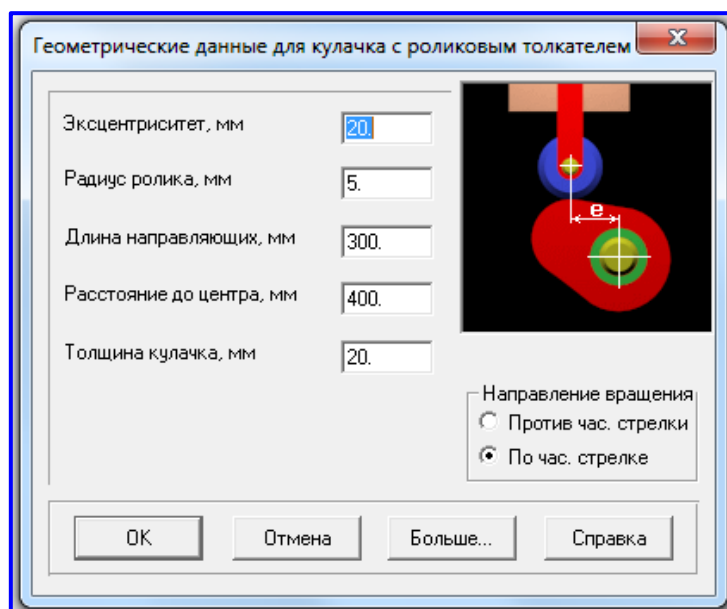


Рисунок 5.1 Диалоговое окно «Геометрические данные»

– «Эксцентриситет, мм» – вводим число 20;

– «Радиус ролика, мм» – 5;

– «Длина направляющих, мм» – 300;

– «Расстояние до центра, мм» – 400;

– «Толщина кулачка, мм» – 20.

В группе параметров *Направление вращения* выбираем – по час. стрелке.

Для задания вели-

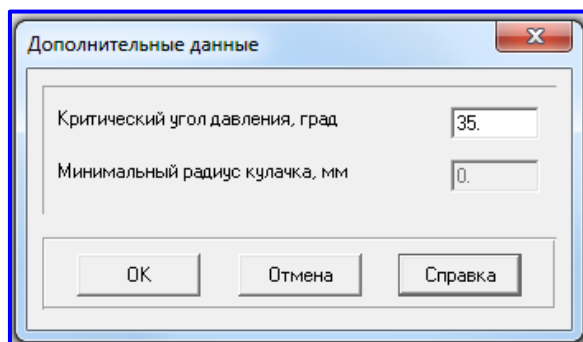



Рисунок 5.2 Диалоговое окно «Дополнительные данные»

чины максимального угла давления следует в диалоговом окне «**Геометрические данные для кулачка с роликовым толкателем**» нажать кнопку «**Больше...**». После этого в открывшемся диалоговом окне «**Дополнительные данные**» (рисунок 5.2) выбираем один из взаимоисключающих параметров.

Так как в рассматриваемой задаче задана величина максимального угла

давления, то в поле ввода «Критический угол давления, град» записываем число 35.

5.3 Задание физических параметров материалов кулачкового механизма.

Для задания физических данных материалов кулачкового механизма нажимаем кнопку «Ввод физических данных»  (меню Данные/Физические данные...) и в открывшемся диалоговом окне «Физические данные для кулачка с роликовым толкателем» (рисунок 5.3) задаем запрашиваемые параметры, занося их в соответствующие поля ввода:

- «Результирующая сила сопротивления, Н» – вводим число 200;
- «Допустимое напряжение, МПа» – 800;
- «Модуль упругости кулачка, МПа – 200000;
- «Модуль упругости наконечника, МПа – 200000;
- «Коэффициент трения в высшей паре» – 0,01;
- «Коэффициент трения в направляющих» – 0,01;
- «Коэффициент запаса угла давления» – 1.

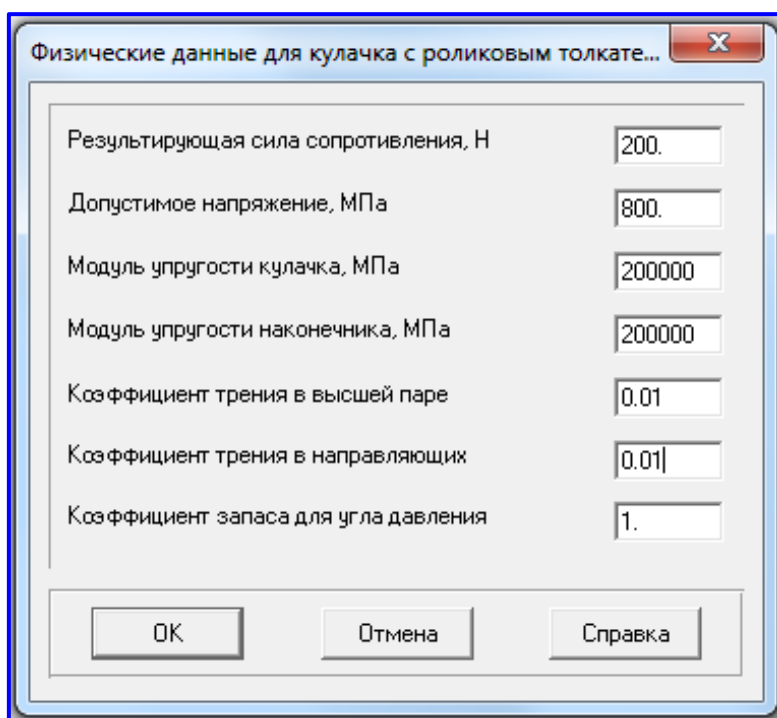





Рисунок 5.3 – Диалоговое окно «Физические данные для кулачка с роликовым толкателем»

5.4 Задание реализуемого кулачком закона движения.

Нажимаем кнопку «Задание новой функции»  (меню Данные/Функция...). Заданный по условию функциональный вид закона движения вводится в появившемся диалоговом окне «Редактор функций», в котором нужно предварительно выполнить несколько настроек.

5.4.1 Задание масштаба окна редактора функции. Для большинства случаев достаточно установить масштаб 1:1. Для этого следует нажать кнопку «**Масштаб**»  и записать 1:1 в поле ввода диалогового окна «**Масштаб**».

5.4.2 Задание диапазона изменения функции. Для задания диапазона функциональной зависимости по Y следует нажать кнопку «**Пределы функции**» . Откроется диалоговое окно «**Пределы функции**» (рисунок 5.1), в котором нужно будет задать диапазон изменения функции, а следовательно, и диапазон перемещения толкателя. Единицы измерения по различным осям приводятся на панели статуса диалогового окна «**Редактор функций**». Поля ввода по X неактивны, поскольку в данном случае X – это угол поворота кулачка, который всегда определяется величиной полного оборота.

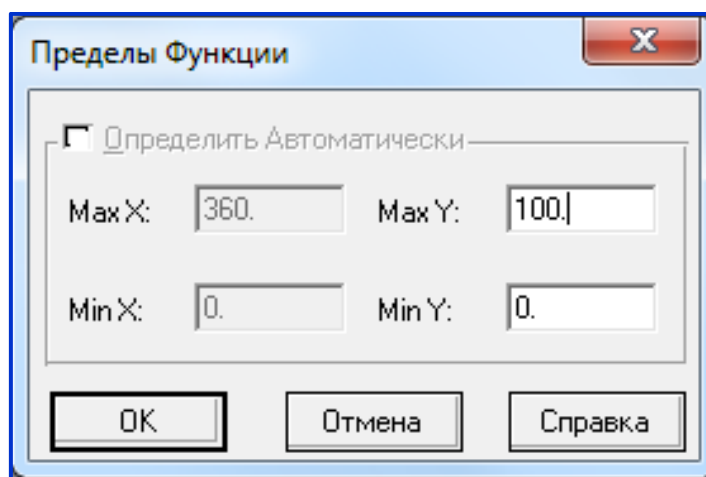





Рисунок 5.4 – Диалоговое окно «Пределы функции»

По условию диапазон перемещений толкателя составляет от 0 до 80 мм, поэтому для того чтобы вся функция располагалась в окне редактора функций, в соответствующие поля ввода записываем:




- «**Max Y**» – число 100;
- «**Min Y**» – число 0.


5.4.3 Выбор вида закона движения. У пользователя есть возможность выбора вида закона движения, т. е. вида функциональной зависимости, которую должен реализовать кулачковый механизм:


- Функция «**Перемещение**», нажата кнопка «**Перемещение**»  ;
- Функция первой производной функции перемещения – кнопка «**Аналог скорости**»  ;
- Функция второй производной функции перемещения, – кнопка «**Аналог ускорения**» .

По умолчанию нажата кнопка «Перемещение», что и соответствует рассматриваемой задаче.

5.4.4 Выбор способа задания закона движения. У пользователя есть возможность выбора способа задания закона движения или его участков:

- Сплайн – нажата кнопка «Вставить сплайн» ;
- Линейная или кусочно-линейная зависимость – нажата кнопка «Вставить линию» ;
- Аналитическая функция – нажата кнопка «Аналитическая функция» .

- Кроме того, ввод данных может быть осуществлен с помощью таблицы
- нажата кнопка «Таблица» .

5.4.5 Задание аналитической функции. В рассматриваемой задаче закон движения задан в виде аналитической функции, для ввода которой следует перейти в соответствующий режим нажатием кнопки . После этого открывается диалоговое окно «Аналитическая функция» (рисунок 5.2). В поле ввода $f(x) =$ этого окна нужно записать заданную по условию функциональную зависимость, т. е. $40 \cdot \sin(0.07 \cdot x - 1.57) + 40$. Кроме того:

- В поле ввода «От точки» – вводим число 0;
- В поле ввода «До точки» – вводим число 360.

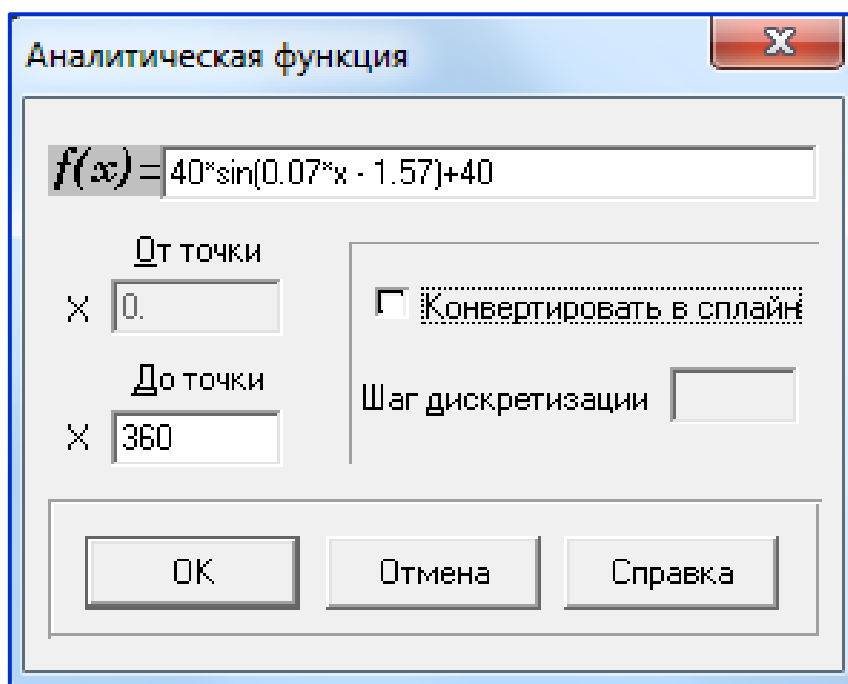


Рисунок 5.5 – Диалоговое окно «Аналитическая функция»

После выполнения всех этих операций заданная функциональная

зависимость отобразится в окне «Редактор функций» (рисунок 5.6).

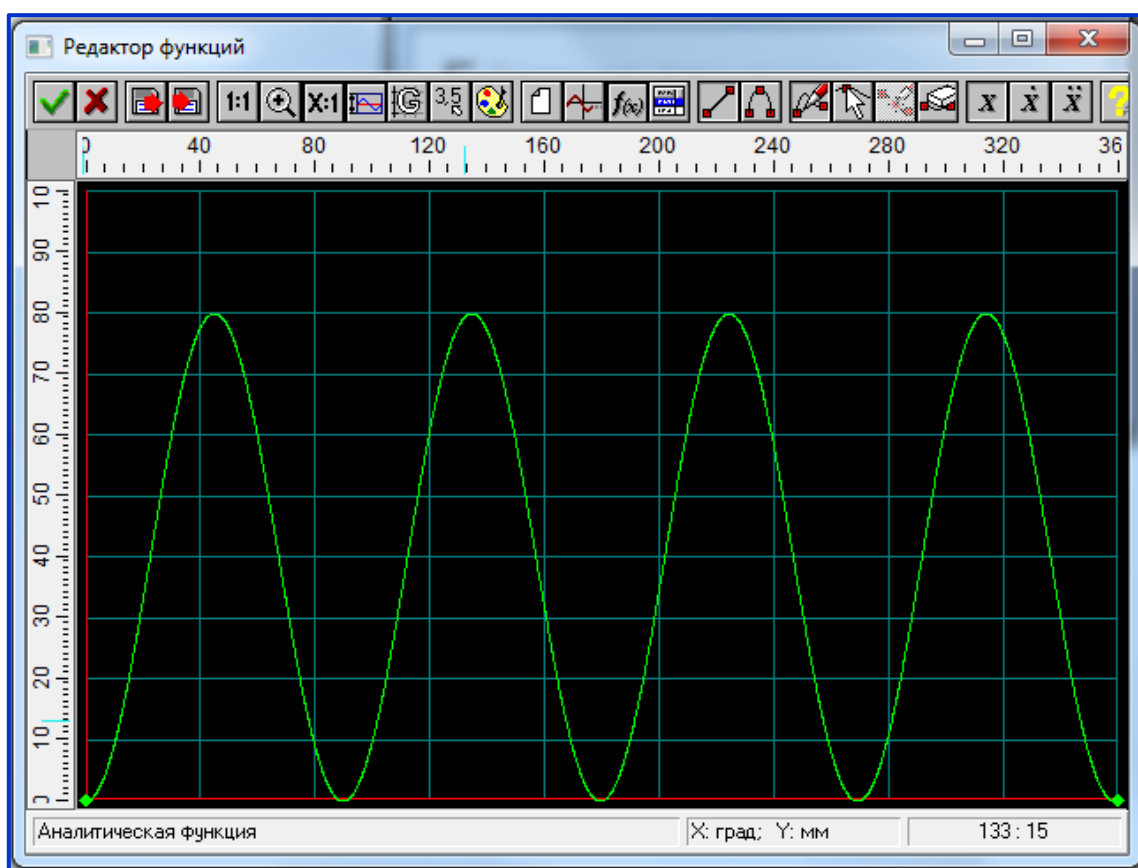


Рисунок 5.6 – Функциональная зависимость в окне «Редактор функций»


5.5 Выполнение расчета.

Нажимаем кнопку «Расчет»  (меню **Расчет**). После окончания расчета становится активной кнопка «Результаты» (меню **Результаты**).

Замечание

Если в процессе расчета с введенными исходными данными возникают те или иные проблемы, программа может выдавать различные сообщения. В зависимости от вида возникающих проблем в отдельных случаях возможно получение результата, в других – расчет будет прерван.

5.6 Просмотр результатов расчета.

Для просмотра результатов расчета нажимаем кнопку «Показать результаты»  (меню **Результаты**). В открывшемся диалоговом окне «Результаты» (рисунок 5.7) пользователь может выбрать те результаты расчета, которые он желает просмотреть.

При нажатии кнопки «Профиль кулачка» откроется диалоговое окно «Профиль кулачка» (рисунок 5.8), в поле которого можно оценить размеры спроектированного кулачка и просмотреть моделирование его работы.

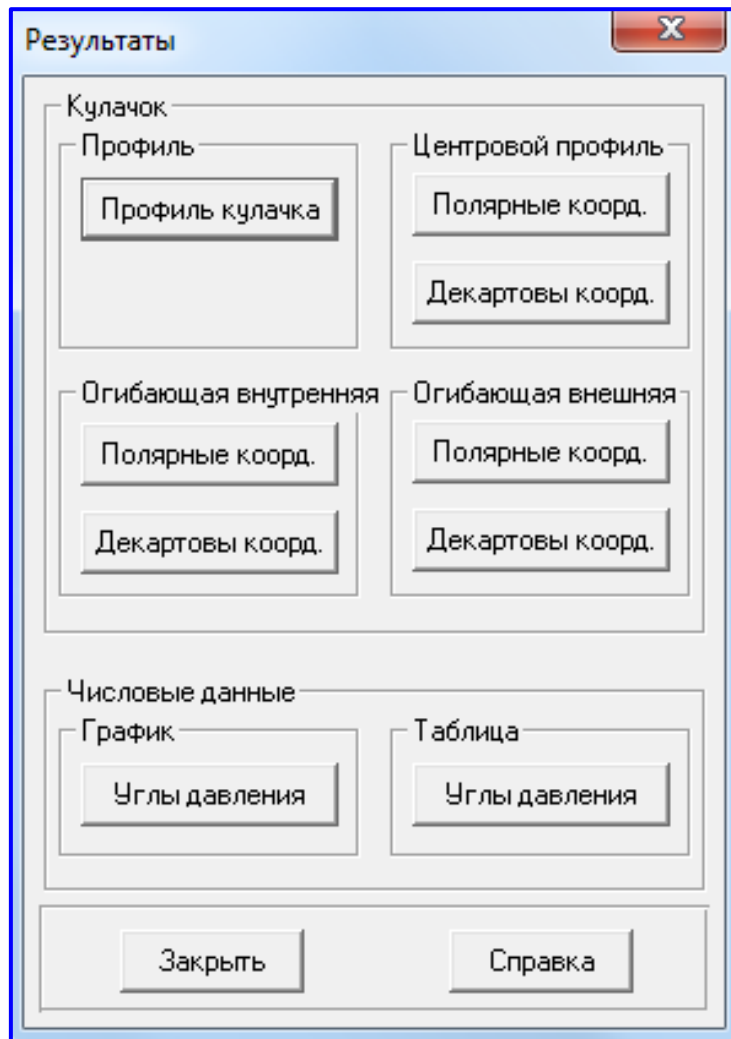


Рисунок 5.7 – Диалоговое окно «Результаты»

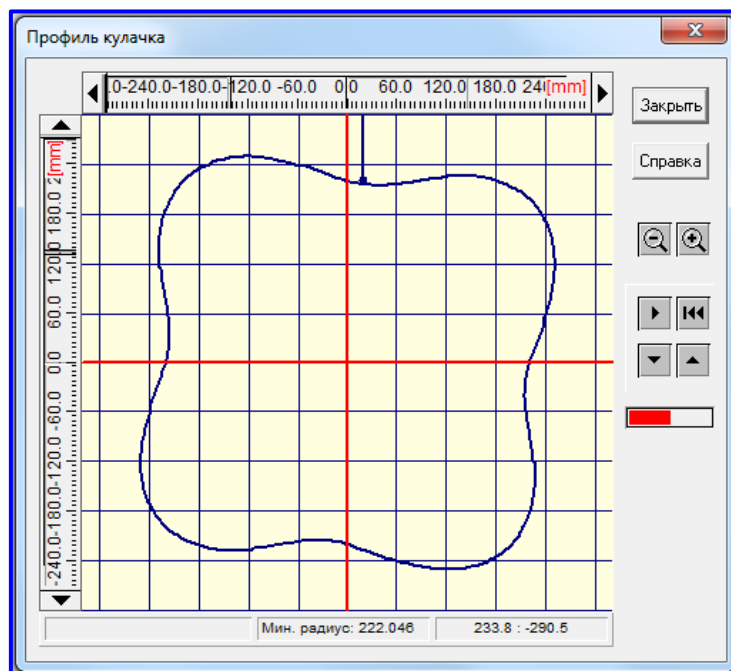


Рисунок 5.8 – Диалоговое окно «Профиль кулачка»

Выбирая различные кнопки в диалоговом окне «Результаты», можно последовательно просмотреть координаты центрального профиля кулачка, его внешней и внутренних огибающих в полярных и декартовых координатах, а также график зависимости углов давления от углов поворота кулачка (рисунок 5.9).

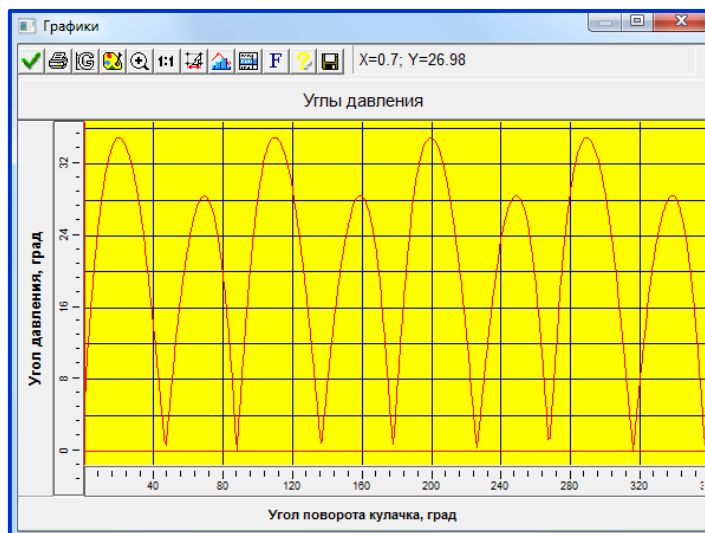



Рисунок 5.9 – График зависимости углов давления от углов поворота кулачка

5.7 Генерация чертежа спроектированного кулачка.

Для генерации чертежа спроектированного кулачка следует нажать кнопку «Чертеж»  (меню **Чертеж...**). Это приведет к открытию диалогового окна «Черчение» (рисунок 5.10), в котором необходимо сделать некоторые настройки.

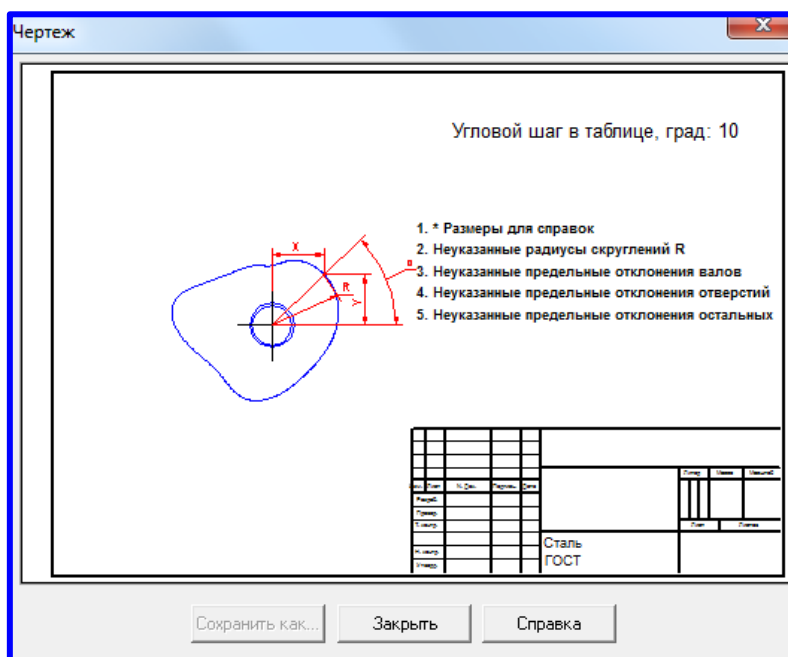


Рисунок 5.10 – Диалоговое окно «Чертеж»

5.7.1 Задание конструктивных размеров кулачка. Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области изображения кулачка вызывает открытие диалогового окна «**Ступицы кулачка**» (рисунок 5.11), с помощью которого может быть выбран тип ступицы кулачка.

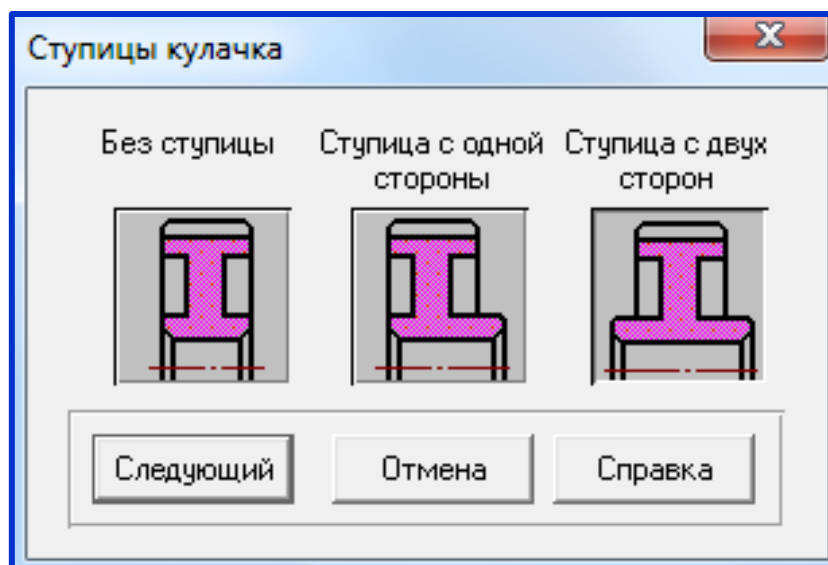


Рисунок 5.11 – Диалоговое окно «Ступицы кулачка»

После выбора типа ступицы (щелчка на одной из кнопок с типом ступицы) и нажатия кнопки «**Следующий**» откроется диалоговое окно «**Тип соединения**» (рисунок 5.12). Щелчком на одной из кнопок с типом соединения выбираем тип соединения и нажимаем кнопку «**Следующий**».

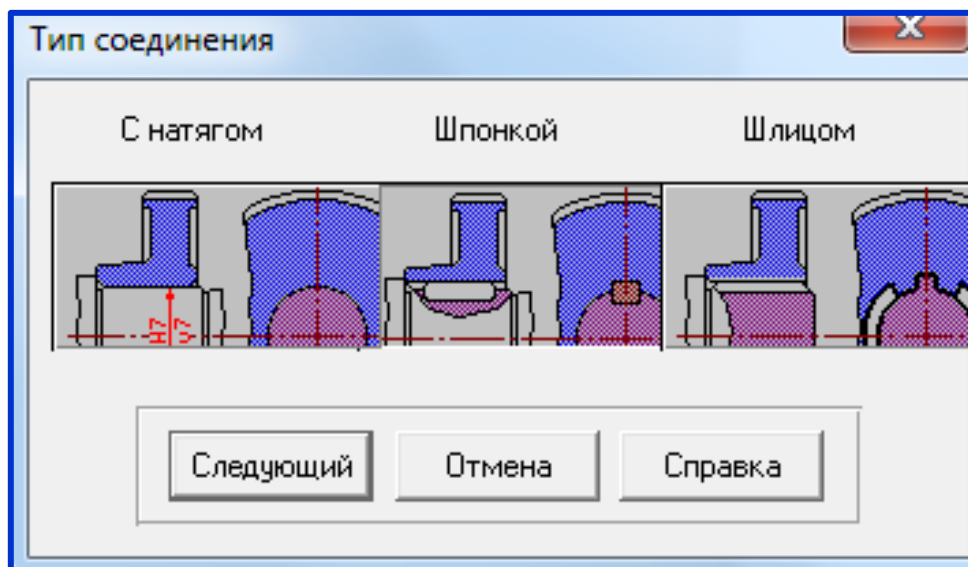


Рисунок 5.12 – Диалоговое окно «Тип соединения»

Затем откроется диалоговое окно «**Размеры**» (рисунок 5.13), в полях которого можно будет задать / уточнить некоторые из размеров кулачка.

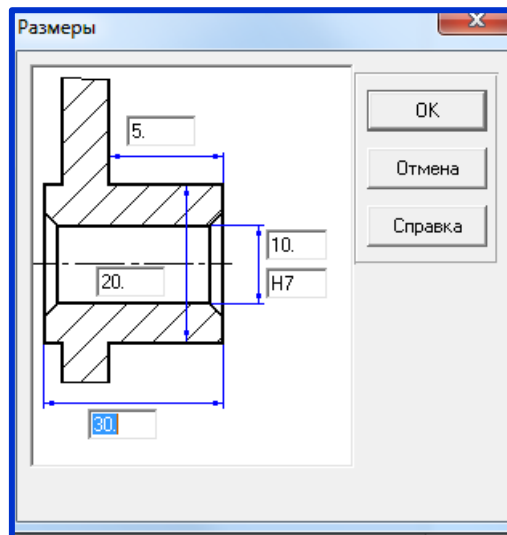


Рисунок 5.13 – Диалоговое окно «Размеры»

5.7.2 Задание углового шага вывода данных профиля кулачка. Двойной щелчок левой кнопкой мыши в правом верхнем углу окна «Черчение», вызывает открытие диалогового окна «Угловой шаг». В поле ввода этого окна можно изменить угловой шаг, с которым в таблице будут выводиться значения профиля кулачка.

5.7.3 Задание технических требований. Двойной щелчок левой кнопкой мыши в области списка с техническими требованиями вызывает открытие диалогового окна «Технические требования» (рисунок 5.14). Пользователь может изменить значения параметров, записанные в полях с белым фоном.

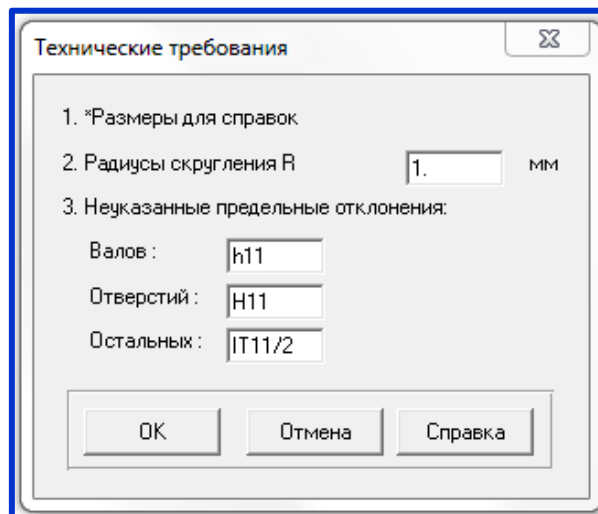


Рисунок 5.14 – Диалоговое окно «Технические требования»

5.7.4 Заполнение штампа. Двойным щелчком левой кнопкой мыши в области штампа чертежа открываем диалоговое окно «Заполнение штампа» (рисунок 5.15), в полях ввода которого можно указать фамилии исполнителей и дату, а также выбрать масштаб чертежа, формат чертежа и т. п.

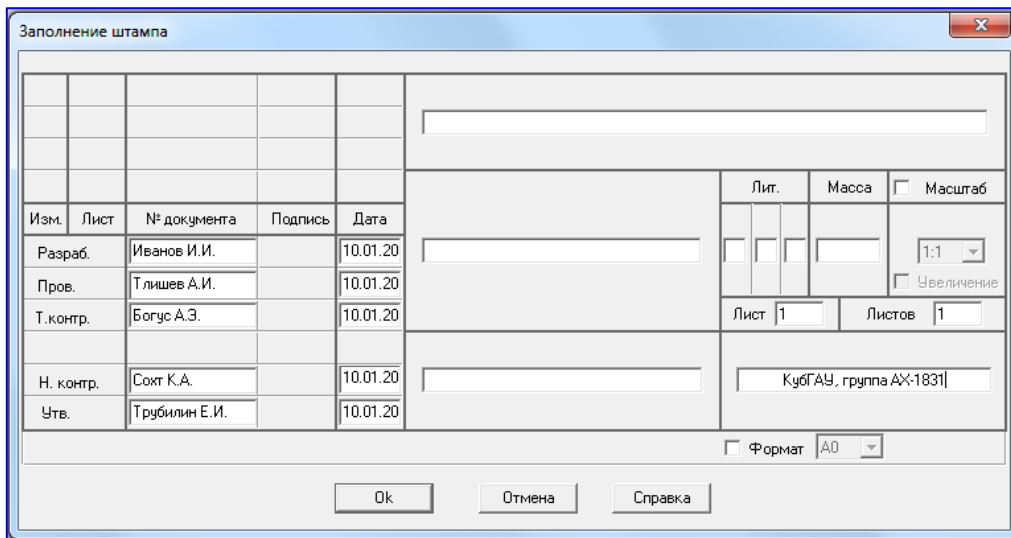


Рисунок 5.15 – Диалоговое окно «Заполнение штампа»

5.7.5 Сохранение чертежа. Для завершения генерации чертежа необходимо в окне «Черчение» нажать кнопку «Сохранить как» и сохранить чертеж как файл с расширением ***.agr**. После этого произойдет запуск плоского чертежного редактора **APM Graph**, в окне которого и будет показан чертеж спроектированного кулачка (рисунок 5.16).

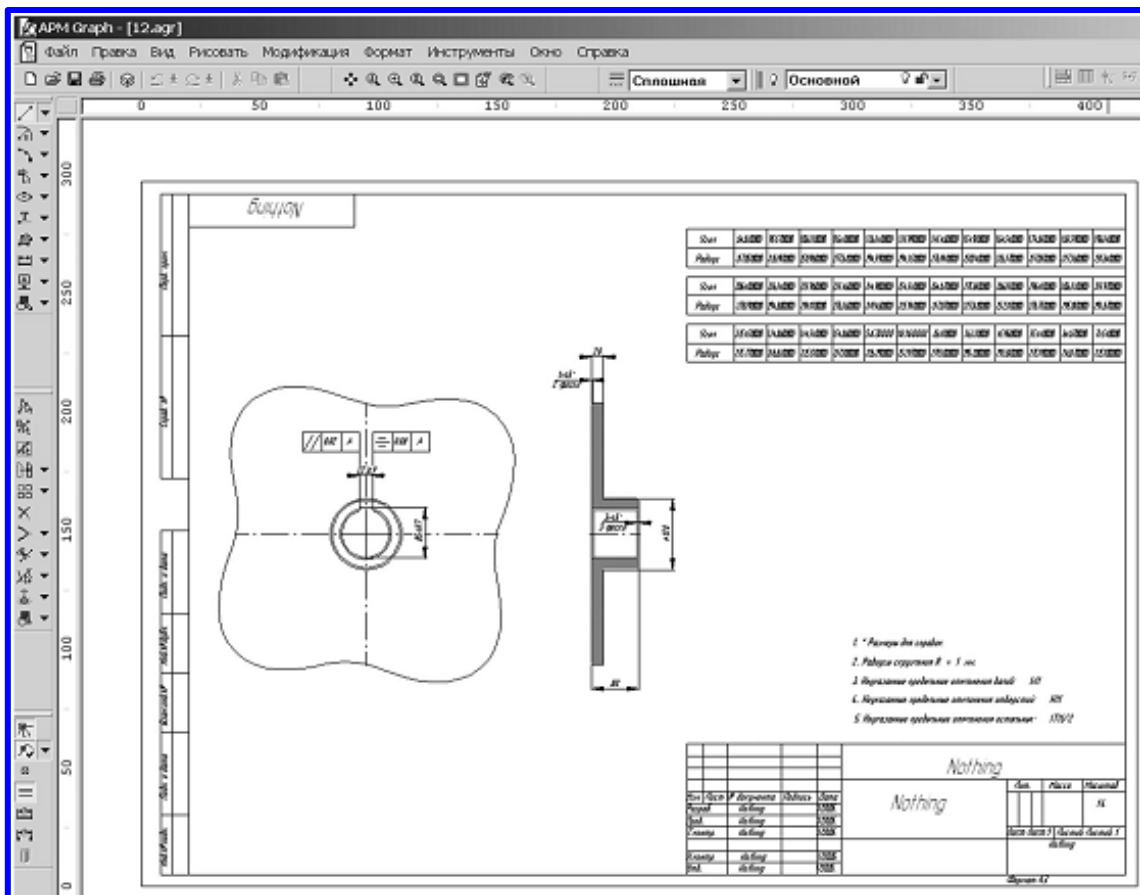


Рисунок 5.16 – Плоский чертёж кулачкового механизма в графическом редакторе APM Graph

5.8 Вывод результатов на печать или в файл формата *.rtf.

Для вывода результатов расчета на печать нажмите в основном окне программы кнопку «Печать» (меню **Файл/Печать**) и в открывшемся окне «**Что Вы хотите напечатать?**» отметьте флажками те результаты, которые требуется вывести на печать. Вывод результатов расчета может быть осуществлен либо сразу на принтер (кнопка «Печать»), либо в текстовый файл формата *.rtf (кнопка «RTF»), который может быть открыт в большинстве текстовых редакторов, так что пользователь имеет возможность его редактировать. Такая возможность особенно удобна в том случае, когда по результатам расчета нужно подготовить отчет по заданной форме. Ниже представлены результаты расчёта сохраненного в текстовый файл .rtf.

Результаты расчёта сохраненные в текстовый файл .rtf.

Тип кулачка:

Кулачок с роликовым толкателем.

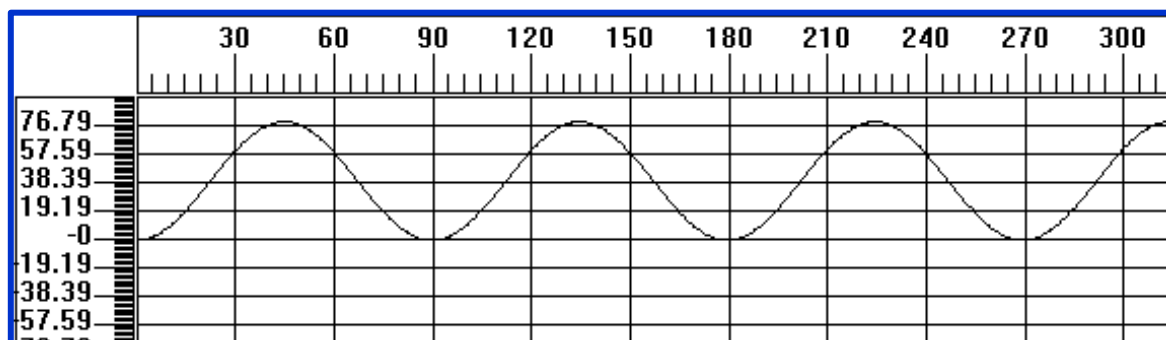
Геометрические данные:

Эксцентриситет, мм	20
Радиус ролика, мм	5
Длина направляющих, мм	300
Расстояние до центра кулачка, мм	400
Толщина кулачка, мм	20
Критический угол давления, град	35
Минимальный радиус кулачка, мм	n/def
Вращение против часовой стрелки.	

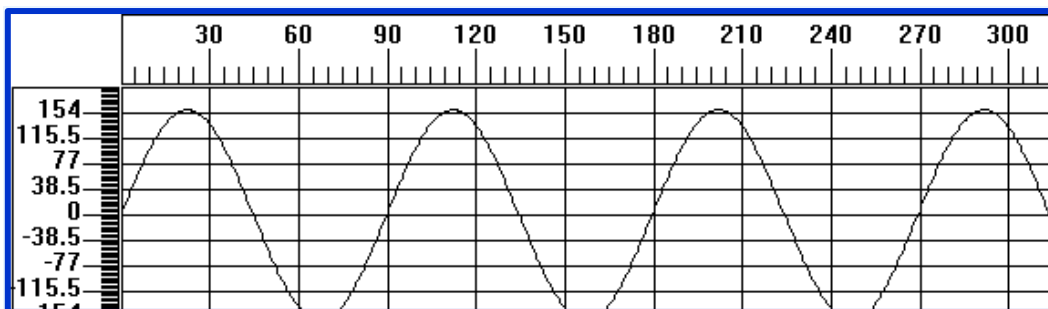
Физические данные:

Результирующая сила сопротивления, Н	200
Допустимое напряжение, МПа	800
Модуль упругости кулачка, МПа	200000
Модуль упругости наконечника, МПа	200000
Коэффициент трения в высшей паре	0.01
Коэффициент трения в направляющих	0.01
Коэффициент запаса для угла давления	1

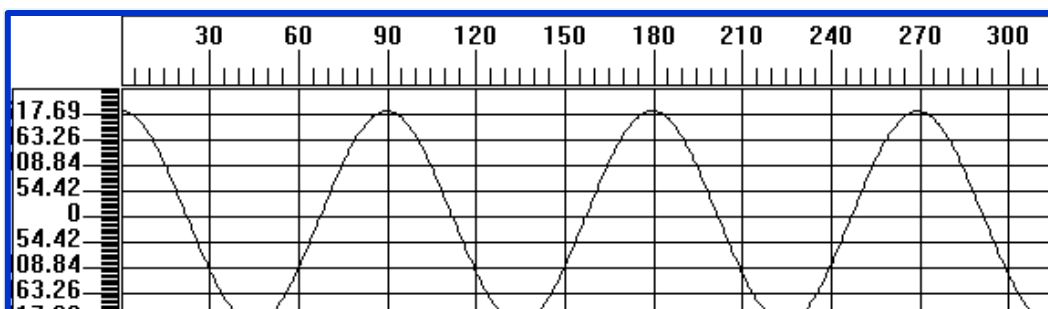
Перемещение (X: град; Y: мм)



Аналог скорости (X: град; Y: мм/рад)



Аналог ускорения (X: град; Y: мм/рад^2)



Профиль кулачка (X: мм; Y: мм)

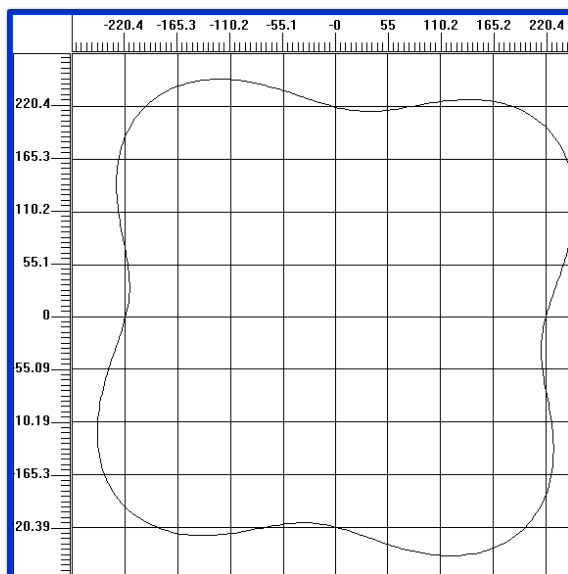


Таблица полярных координат центрального профиля

Угол поворота кулачка, град	Полярный угол, град	Полярный радиус, мм
0	84.8323	222.046
10	95.0425	231.436
20	105.504	255.161
30	115.934	282.075
40	126.171	299.511
50	136.168	299.26
60	145.925	281.438
70	155.492	254.439
80	165.032	230.968
90	174.832	222.052

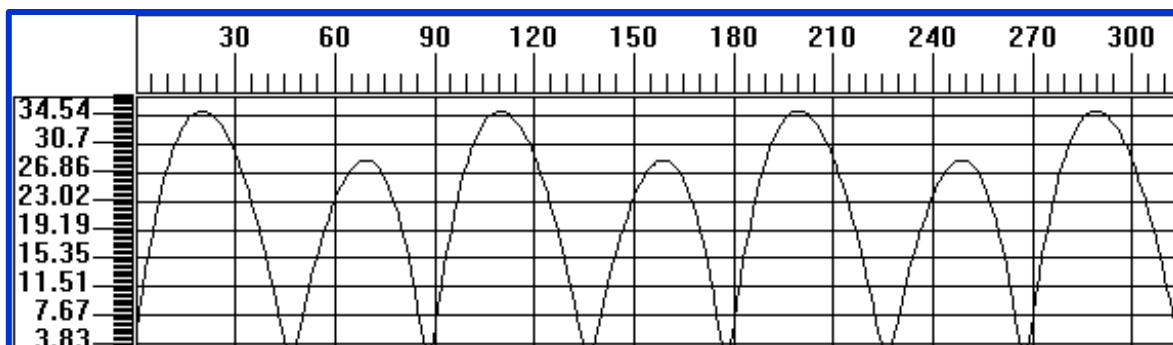
Таблица полярных координат реального профиля - внутренней огибающей

Угол поворота кулачка, град	Полярный угол, град	Полярный радиус, мм
0	84.833	217.046
10	95.5731	226.909
20	106.126	250.982
30	116.401	277.625
40	126.344	294.593
50	135.99	294.345
60	145.478	276.936
70	154.911	250.143
80	164.542	226.367
90	174.849	217.053

Таблица полярных координат реального профиля - внешней огибающей

Угол поворота кулачка, град	Полярный угол, град	Полярный радиус, мм
0	84.8316	227.046
10	94.5322	235.982
20	104.903	259.369
30	115.482	286.543
40	126.004	304.433
50	136.34	304.177
60	146.358	285.955
70	156.053	258.76
80	165.504	235.585
90	174.816	227.052

График углов давления (X: град; Y: град)



Контрольная работа №5

Расчета кулачковых механизмов в модуле APM Cam

Используя исходные данные, представленные в таблице 5.1 выполнить четыре варианта расчета кулачковых механизмов и оформить отчет. После выполнения расчета результаты сохранить в текстовый файл формата ***.rtf** (кнопка «**RTF**»). Также, в отчете должны быть представлены скриншоты полученных результатов. Под каждым рисунком (скриншотом) записывается название рисунка. Кратко описать последовательности активируемых команд используемых при выполнении расчета.

Таблица 5.1 Исходные данные к расчёту кулачкового механизма

Параметры кулачкового механизма	Тип кулачкового механизма			
	Поступательный толкатель		коромысло	
	с роликом	плоский	с роликом	плоское
ВАРИАНТЫ:	1	2	3	4
Геометрические параметры				
эксцентриситет, мм	5	-	-	-
радиус ролика, мм	2,25	-	20	-
длина направляющих, мм	200	100	-	-
расстояние до центра, мм	300	800	400	200
длина коромысла, мм	-	-	60	-
толщина кулачка, мм	10	15	20	20
максимальный угол давления, град.	-	-	-	-
направление вращения кулачка	по час.	по час.	против час.	по час.
Физические параметры				
результующая сила сопротивления, Н	200	200	300	500
допустимое напряжение, МПа	800	800	900	800
модуль упругости материала кулачка, МПа	200000	200000	210000	210000
модуль упругости материала ролика, МПа	200000	200000	210000	210000
коэффициент трения в высшей паре	0,01	0,01	0,01	0,01
коэффициент трения в направляющих	0,01	0,01	-	
коэффициент запаса угла давления	1	1	1	
Масштаб	1:1	1:1	1:1	1:1
Пределы функции	Max Y: 250	250	Max Y: 90	Max Y: 90
	Min Y: -250	-250	Min Y: 0	Min Y: 0
Вид закона движения	"Перемещение"	"Перемещение"	"Перемещение"	"Перемещение"
Аналитическая функция	$20 \cdot \sin(0.0525 \cdot x)$	$38 \cdot \sin(0.07 \cdot x - 1.57) + 38$	$20 \cdot \sin(0.07 \cdot x - 1.57) + 20$	$\sin(\text{rad}(0.5 \cdot x))$
	От точки	0	0	0
	До точки	360	360	360

Лабораторная работа №6

Расчет подшипника скольжения жидкостного трения в модуле APM Plane

Цель работы: Научиться выполнять расчёт подшипников скольжения в модуле APM Plane на общем примере и при выполнении самостоятельных работ по индивидуальным заданиям.

Общий порядок расчета

1. Выбор типа подшипника;
2. Задание геометрии подшипника;
3. Задание радиального зазора в дополнительных параметрах (если необходимо);
4. Задание условий работы подшипника;
5. Задание параметров масла;
6. Проведение расчета;
7. Просмотр результатов расчета;
8. Сохранение результатов расчета в файле формата *.rtf.

Задача

Провести расчет подшипника скольжения жидкостного трения при подаче смазки в рабочую зону. Исходные данные:

геометрические параметры

- диаметр вала – 300 мм;
- длина контактной зоны – 300 мм;
- чистота поверхности вала и отверстия – 1 мкм;
- не цилиндричность вала и отверстия – 0,02 мм.

условия работы

- радиальная сила – 30000 Н;
- скорость вращения – 3000 об/мин;
- давление масла – 0.2 МПа.

параметры смазки:

- теплоемкость масла – 1980 Дж/(кг · °С);
- плотность – 872 кг/м³.
- вязкость масла при температуре T = 20°С – 0.0872 Па · с.
- вязкость масла при температуре T = 70 °С – 0.0095 Па · с.

Расчет подшипника скольжения жидкостного трения

6.1 Выбор типа подшипника

Входим в меню **Данные / Тип подшипника** и в открывшемся диалоговом окне «**Выбор типа подшипника**» выбираем «**Радиальный подшипник жидкостного трения**».

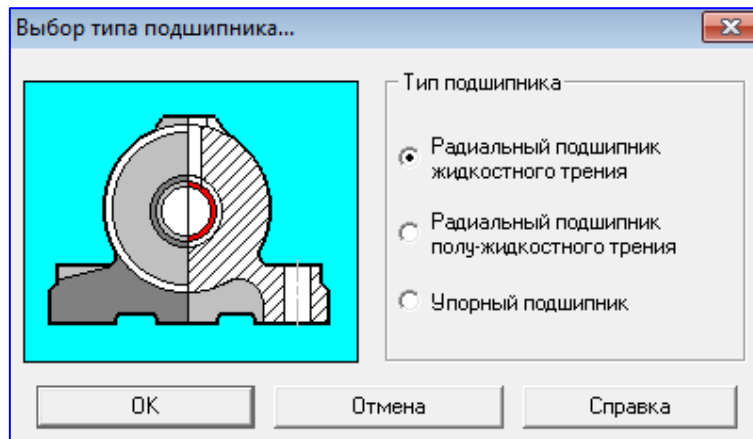



Рисунок 6.1 – Диалоговое окно «Выбор типа подшипника»

6.2 Задание геометрии подшипника

Нажимаем кнопку «Геометрия»  (меню **Данные / Геометрия...**) и в поля ввода открывшегося диалогового окна «Геометрия подшипника» записываем запрашиваемые параметры в соответствии с исходными данными:

- «Диаметр вала, мм» – вводим число 300;
- «Длина контактной зоны, мм» – 300;
- «Чистота поверхности вала, мкм» – 1;
- «Чистота поверхности отверстия, мкм» – 1.
- «Не цилиндричность вала, мм» – 0,02;
- «Не цилиндричность отверстия, мм» – 0,02.

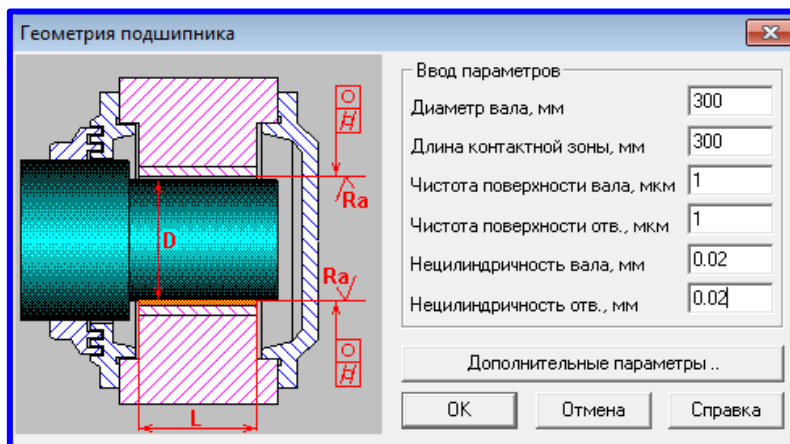


Рисунок 6.2 – Диалоговое окно «Геометрия подшипника»

6.3 Задание радиального зазора в дополнительных параметрах

Для задания величины радиального зазора следует в диалоговом окне «Геометрия подшипника» нажать кнопку **Дополнительные параметры...** Это приводит к открытию диалогового окна «Геометрия подшипника» (рисунок 6.3). Поскольку величина радиального зазора не задана, то в поле ввода

Дополнительные параметры... Радиальный зазор, мм оставляем значение, равное **0**.

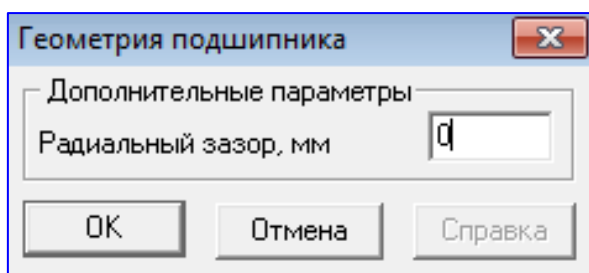


Рисунок 6.3 – Диалоговое окно «Геометрия подшипника»

6.4 Задание условий работы подшипника

Для задания условий работы следует нажать кнопку **«Условия работы»**



(меню **Данные / Условия работы...**) и в поля ввода открывшегося диалогового окна **«Условия работы»** ввести запрашиваемые параметры в соответствии с исходными данными:

- «Радиальная сила, Н» – 30000;
- «Скорость вращения, об/мин» – 3000;
- «Температура масла, °С» – 20;
- «Давление масла, Па» – 200000.

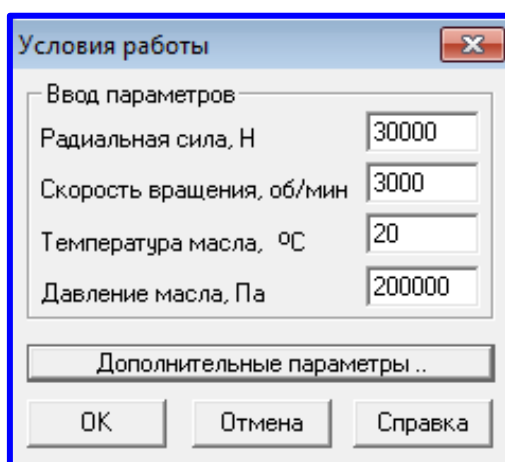


Рисунок 6.3 – Диалоговое окно «Условия работы»

6.5 Задание параметров масла

Для задания параметров масла нужно нажать кнопку **«Параметры масла»**



(меню **Данные / Параметры масла...**) и в открывшемся диалоговом окне **«Ввод характеристик масла...»** (рисунок 6.4) в группе параметров *Данные по вязкости* выбрать **Значения**. Далее следует ввести параметры масла.

- Вязкость масла при темп. 1, Па*сек – 0.0872;
- Вязкость масла при темп. 2, Па*сек – 0.0095;
- Температура 1, град. С – 20;

– Температура 2, град. С – 70.

Кроме того, в полях ввода группы параметров *Основные параметры* следует задать теплоемкость и плотность масла:

– «Теплоемкость масла, Дж/(кг · °С)» – 1980;

– «Плотность масла, кг/м³» – 872 (рисунок 6.4).

Ввод характеристик масла...

Данные по вязкости

Значения

Марка масла

Основные параметры

Теплоемкость масла, Дж/(кг·°С) 1980

Плотность масла, кг/м³ 872

Значения вязкости

Вязкость масла при темп. 1, Па·сек 0.0872

Вязкость масла при темп. 2, Па·сек 0.0095

Температура 1, град. С 20

Температура 2, град. С 70

Марка масла

Определить зависимость

ОК Отмена Справка

Рисунок 6.4 – Диалоговое окно «Ввод характеристик масла...»

По введенным параметрам вязкости строится зависимость вязкости масла от температуры. Чтобы ее просмотреть следует нажать кнопку «**Определить зависимость**», что приведет к открытию диалогового окна «**Зависимость Температура-вязкость для масла**», в котором по введенным значениям вязкости и температуры будет построена зависимость.

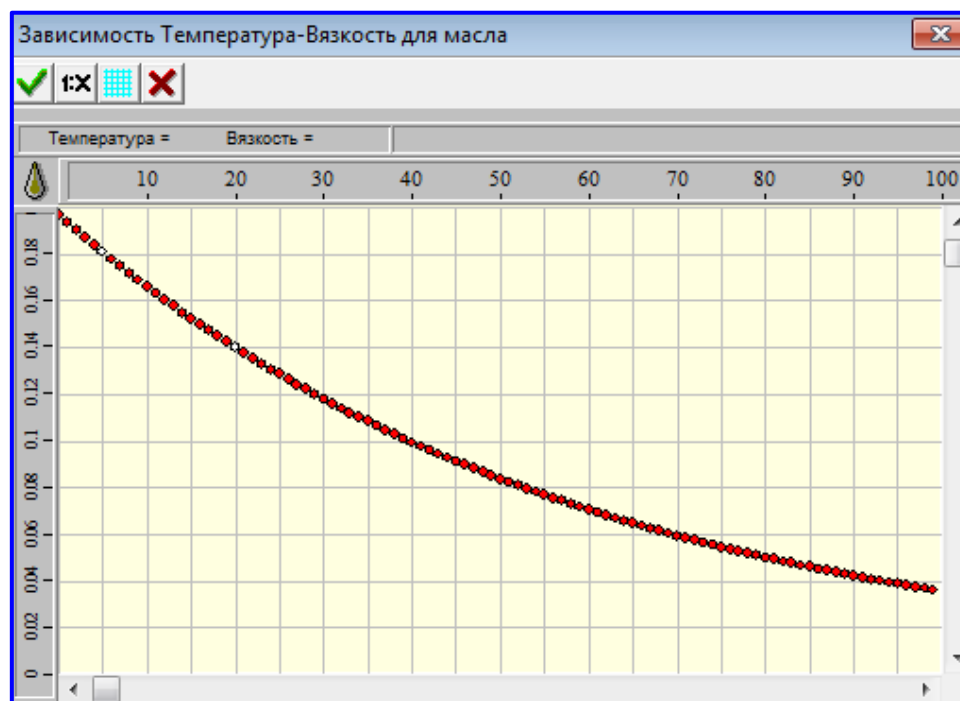



Рисунок 6.5 – Диалоговое окно «Зависимость Температура-вязкость для масла»

6.6 Проведение расчета

Нажимаем кнопку «Расчет»  (меню «Расчет»). После окончания расчета становится активной кнопка «Результаты» (меню «Результаты»).

6.7 Просмотр результатов расчета

Для просмотра результатов расчета нажимаем кнопку «Результаты»  (меню «Результаты»). В открывшемся диалоговом окне «Результаты расчета» показываются результаты расчета (рисунок 6.6).

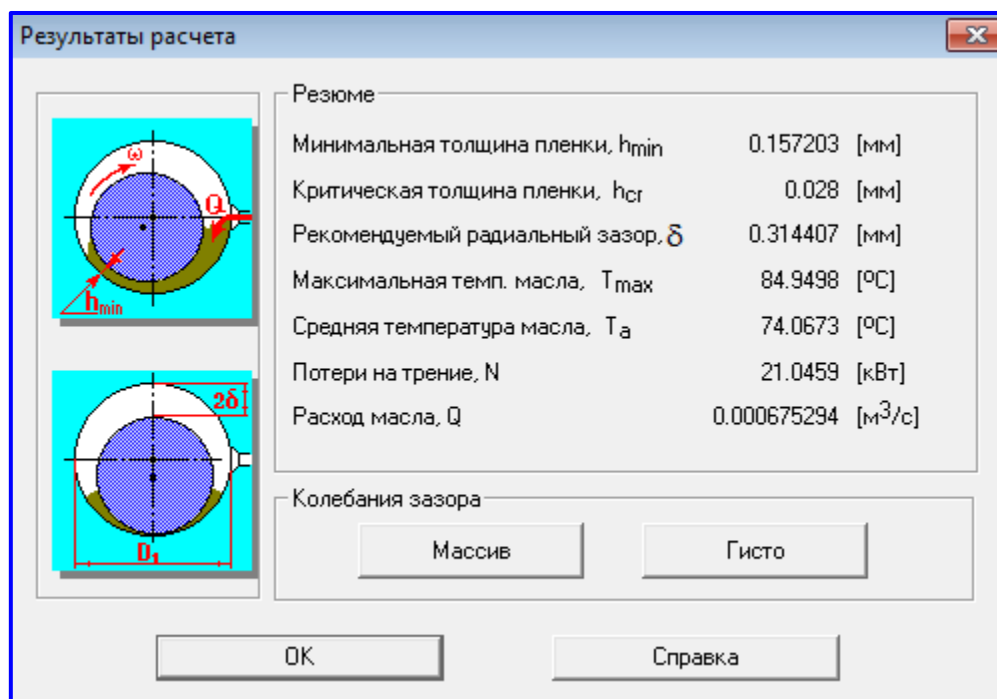


Рисунок 6.6 – Диалоговое окно «Результаты расчета»

6.8 Сохранение результатов расчета в файле формата *.rtf

У пользователя есть возможность вывести и исходные данные, и результаты расчета в текстовый файл формата ***.rtf**, который может быть открыт в большинстве текстовых редакторов. Для вывода результатов в формате ***.rtf** следует выбрать в меню **Файл / Печать в RTF...** тип файла ***.rtf** и сохранить его в этом формате.

Ниже представлены результаты расчетов сохраненные в формате ***.rtf**

Тип подшипника:

Радиальный подшипник жидкостного трения

Диаметр вала , мм...	300
Длина контактной зоны , мм...	300
Чистота поверхности вала , мкм	1
Чистота поверхности отверстия , мкм	1

Нецилиндричность вала , мм...	0.02
Нецилиндричность отверстия , мм...	0.02
Радиальный зазор , мм...	не определен
Радиальная сила , Н...	30000
Скорость вращения , об.мин...	3000
Температура масла , град...	20
Давление масла , Па...	2e+005
Угол контакта масла , град...	120

Теплоемкость масла , Вт/м*град...	1980
Плотность масла , кг/куб.м...	872
Выбранная марка масла:	
Подача масла в:	70
Вязкость масла при температуре 1 , Па*с...	0.0872
Вязкость масла при температуре 2 , Па*с...	0.0095
Температура 1 , град...	20
Температура 2 , град...	9.3556e-318

Минимальная толщина смазочной пленки	0.1572	мм
Критическая толщина смазочной пленки	0.028	мм
Рекомендованный радиальный зазор	0.31441	мм
Максимальная температура масла	84.95	град
Средняя температура масла	74.067	град
Потери на трение в подшипнике	21.046	кВт
Полное потребление	0.00067529	куб.м/с

Контрольная работа №6

Проектировочный расчет радиальных подшипников жидкостного и полужидкостного трения, упорного подшипника в модуле APM Plain

Провести проектировочный расчет радиальных подшипников жидкостного и полужидкостного трения, упорного подшипника в модуле APM Plain по вариантам представленным в таблице 6.1 с параметрами представленными в таблицах 6.2-6.4.

После выполнения расчета результаты сохранить в текстовый файл формата *.rtf (кнопка «RTF»). Также, в отчете должны быть представлены скриншоты полученных результатов. Под каждым рисунком (скриншотом) записывается название рисунка. Кратко описать последовательности активируемых команд используемых при выполнении расчета.

Таблица 6.1– Расчёт подшипников в модуле APM Plain

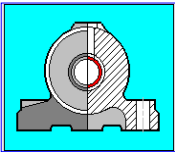
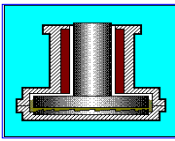
Варианты	Типы подшипников		
			
	Радиальные подшипники		упорный подшипник
	жидкостного трения	полужидкостного трения	
№1	1.1	2.1	3.1
№2	1.2	2.2	3.2
№3	1.3	2.3	3.3
№4	1.4	2.4	3.4
№5	1.1	2.2	3.3
№6	1.2	2.3	3.4
№7	1.3	2.1	3.2
№8	1.4	2.2	3.3
№9	1.1	2.3	3.4
№10	1.2	2.4	3.3
№11	1.3	2.2	3.4
№12	1.4	2.3	3.1
№13	1.1	2.3	3.3
№14	1.2	2.1	3.4
№15	1.3	2.2	3.3
№16	1.4	2.3	3.4
№17	1.1	2.4	3.2
№18	1.2	2.2	3.3
№19	1.3	2.3	3.4
№20	1.4	2.2	3.3
№21	1.1	2.3	3.4
№22	1.2	2.1	3.1
№23	1.3	2.2	3.1
№24	1.4	2.3	3.2
№25	1.2	2.4	3.3
№26	1.3	2.1	3.4
№27	1.4	2.3	3.3
№28	1.1	2.4	3.3
№29	1.2	2.1	3.4
№30	1.3	2.3	3.2

Таблица 6.2 – Исходные данные для расчёта радиальных подшипников жидкостного трения

Варианты:	1.1	1.2	1.3	1.4
Геометрия подшипника				
Диаметр вала , мм...	120	250	200	440
Длина контактной зоны , мм...	50	250	200	270
Чистота поверхности вала , мкм	1,5	1	1,2	6
Чистота поверхности отверстия , мкм	2,5	1	2,4	7
Нецилиндричность вала , мм...	0,05	0,02	0,02	0,23
Нецилиндричность отверстия , мм...	0,05	0,02	0,02	0,34
Дополнительные параметры				
Радиальный зазор , мм...	0,055	0,0855	0,136	0,115
Условия работы подшипника				
Радиальная сила , Н...	200	20000	50000	30000
Скорость вращения , об.мин...	1000	2000	800	1250
Температура масла , град...	40	70	40	50
Давление масла , Па...	200000	15000	40000	50000
Угол контакта масла , град...	120	120	120	120
Параметры масла				
Теплоёмкость масла, Дж/(кг*°С)	1920	1980	1980	1940
Плотность масла, кг/м ³ ..	820	872	876	855
Вязкость масла при температуре 1 , Па*с...	0,163	0,0872	0,019	0,158
Вязкость масла при температуре 2 , Па*с...	0,017	0,0092	0,0091	0,039
Температура 1 , град. °С	6	20	20	15
Температура 2 , град. °С	56	70	70	65

Таблица 6.3 – Исходные данные для расчёта радиальных подшипников полу-жидкостного трения

Варианты:	2,1	2,2	2,3	2,4
Геометрия подшипника				
Диаметр вала , мм...	400	120	250	350
Длина контактной зоны , мм...	300	100	200	250
Дополнительные параметры				
Радиальный зазор , мм...	0,4	0,5	0,8	0,3
Условия работы подшипника				
Радиальная сила , Н...	20000	5000	8000	12000
Скорость вращения , об.мин...	800	100	350	700
Температура окружающей среды, °С	20	20	22	23
Площадь корпуса, м ²	0,0045	0,1	0,085	0,15
Модуль Юнга, МПа ..	200000	200000	200000	200000
Теплопроводность, Вт/м* °С	75	64	70	80
Коэффициент трения	0,07	0,001	0,08	0,05
Миним. толщина плёнки масла, мм	0,2	0,1	0,25	0,18
Параметры масла				
Теплоёмкость масла, Дж/(кг*°С)	1980	1200	1800	1982
Плотность масла, кг/м ³ ..	872	678	870	875
Вязкость масла при температуре 1 , Па*с	0,0872	0,57	0,45	0,74
Вязкость масла при температуре 2 , Па*с	0,08	0,12	0,068	0,065
Температура 1 , град. °С	20	20	20	20
Температура 2 , град. °С	65	53	70	75

Таблица 6.4 – Исходные данные для расчёта упорных подшипников

Варианты:	3,1	3,2	3,3	3,4
Геометрия подшипника				
Внутренний диаметр, мм	300	30	60	150
Внешний диаметр, мм	600	100	200	300
Ширина смазочной канавки, мм	100	2	4	12
Неперпендикулярность к А, мм	0,012	0,2	0,4	0,024
Неперпендикулярность к В, мм	0,024	0,2	0,4	0,04
Чистота поверхности опоры, мкм	1	2,5	3,5	1,5
Чистота поверхности накл. поверхности, мкм	1	2,5	3,5	1,5
Условия работы подшипника				
Осевая сила, Н...	500	100	200	250
Скорость вращения , об.мин...	300	3000	2000	500
Температура масла, град...	20	20	20	20
Число плоскостей	10	12	16	10
Максимально допустимая нагрузка, Па	1000000	600000	6000000	100000
Коэффициент наклонной плоскости	12	5	8	10
Параметры масла				
Теплоёмкость масла, Дж/(кг*°С)	1980	1850	1950	1860
Плотность масла, кг/м ³ ..	876	815	860	835
Вязкость масла при температуре 1 , Па*с...	0,0872	0,0972	0,0785	0,0872
Вязкость масла при температуре 2 , Па*с...	0,0092	0,0251	0,0312	0,0451
Температура 1 , град. °С	20	20	20	20
Температура 2 , град. °С	70	65	65	70

Лабораторная работа №7

Расчет шарико-винтовой передачи с преднатягом в модуле APM Screw

Цель работы: Научиться выполнять расчёт шарико-винтовой передачи с преднатягом в модуле APM Screw на общем примере и при выполнении самостоятельных работ по индивидуальным заданиям.

Общий порядок расчета

1. Выбор типа передачи;
2. Задание геометрии передачи;
3. Задание параметров точности изготовления передачи;
4. Задание условий работы передачи;
5. Выполнение расчета;
6. Просмотр результатов расчета;
7. Вывод результатов расчета на печать или в файл формата ***.rtf**.

Задача

Расчитать шарико-винтовую передачу с преднатягом со следующими исходными данными:

геометрические параметры:

- средний радиус винта – 25 мм;
- радиус тел качения – 3 мм;
- радиус дорожки качения – 3.12 мм;
- шаг винта – 12 мм;
- число тел качения в витке – 21;
- число рабочих витков – 3.

величины допусков

- допуск на радиус дорожки винта – 0,02 мм;
- допуск на радиус дорожки гайки – 0,02 мм;
- допуск на шаг винта – 0,03 мм;
- допуск на шаг гайки – 0,03 мм;
- накопленная ошибка шага – 0,1 мм.

условия работы

- осевая сила – 5000 Н;
- радиальная сила – 1000 Н;
- опрокидывающий момент – отсутствует;
- частота вращения – 20 об/мин;
- коэффициент динамичности – 1,1;
- сила преднатяга – 500 Н;
- режим работы – постоянный.

Решение

7.1 Выбор типа передачи.

Входим в меню **Данные / Тип передачи...** и в открывшемся диалоговом окне «Тип передачи» выбираем «**Шарико-винтовая с преднатягом**» (рисунок 7.1).

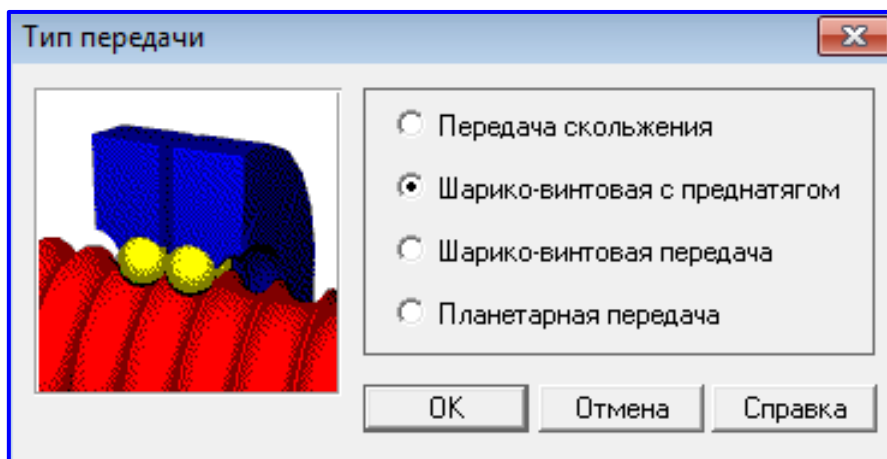


Рисунок 7.1 – Диалоговое окно «Тип передачи»

7.2 Задание геометрии передачи

Входим в меню **Данные/Геометрия...** (рисунок 7.2) и в открывшемся диалоговом

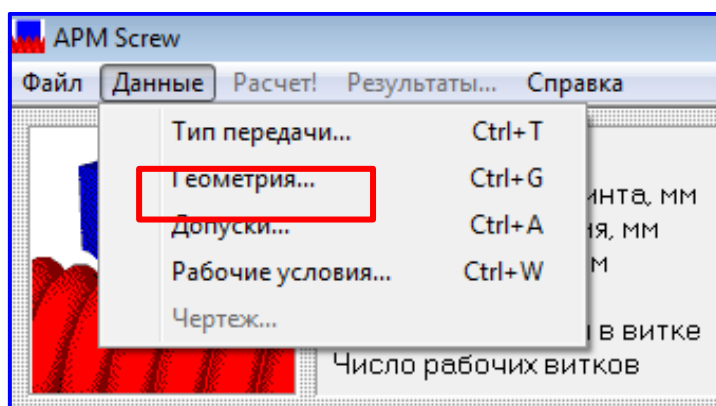


Рисунок 7.2 – Выбор диалогового окна «Геометрия» в меню «Данные»

окне «**Геометрия**» (рисунок 7.3) задаем геометрические параметры рассчитываемой передачи, записывая их значения в соответствующие поля ввода:

- «Средний радиус винта, мм» – 25;
- «Радиус тел качения, мм» – 3;
- «Радиус дорожки качения, мм» – 3.12;
- «Шаг винта» – 12;
- «Число тел качения в витке» – 21;
- «Число рабочих витков» вводим –3.

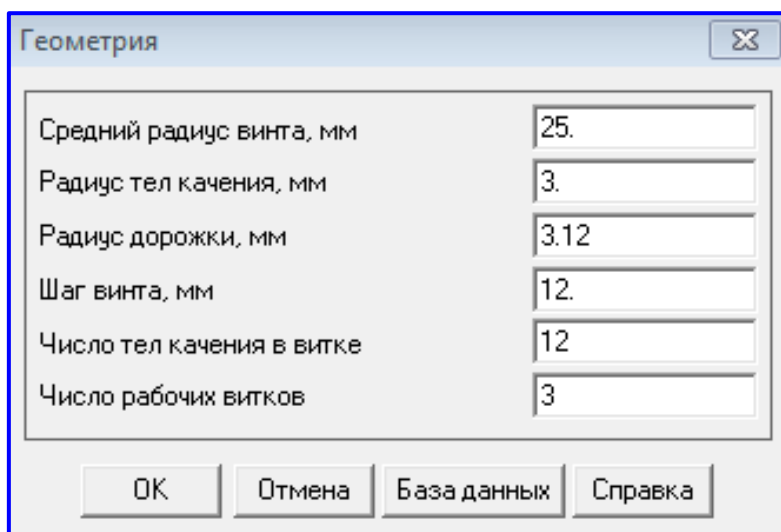


Рисунок 7.3 – Диалоговое окно «Геометрия»

*7.3 Задание параметров точности изготовления передачи.

Входим в меню **Данные / Допуски...** и в соответствующих полях ввода открывшегося диалогового окна «Допуски» (рисунок 7.4) задаем данные по точности рассчитываемой передачи:

- в поле ввода «**Допуск на радиус дорожки винта, мм**» вводим число 0,02;
- в поле ввода «**Допуск на радиус дорожки гайки, мм**» вводим число 0,02;
- в поле ввода «**Допуск на шаг винта, мм**» вводим число 0,03;
- в поле ввода «**Допуск на шаг гайки, мм**» вводим число 0,032;
- в поле ввода «**Накопленная ошибка шага, мм**» вводим число 0,1.

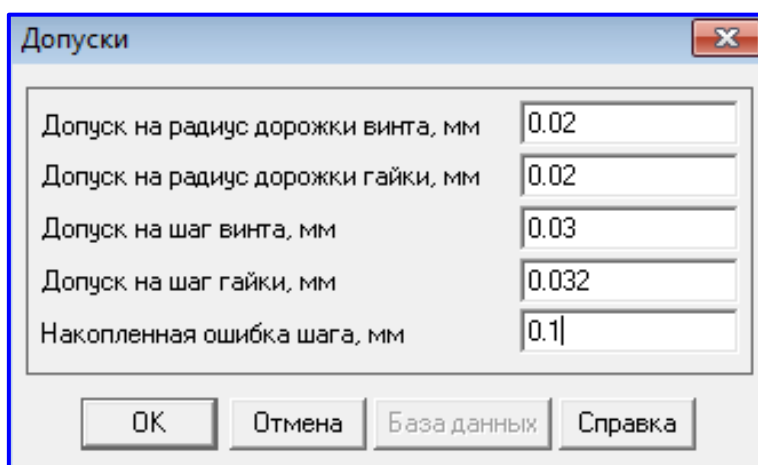


Рисунок 7.4 – Диалоговое окно «Допуски»

7.4 Задание условий работы передачи.

Входим в меню **Данные / Рабочие условия...** и в полях ввода открывшегося диалогового окна «**Рабочие условия**» (рисунок 7.5) записываем величины параметров нагрузки:

- «Осевая сила, Н» – 5000;
- «Радиальная сила, Н» – 1000;
- «Опрокидывающий момент, Нм» – 0;
- «Частота вращения, об/мин» – 20;
- «Коэффициент динамичности» – 1.1;
- «Сила преднатяга, Н» – 500;
- поле ввода «**Смещение преднатяга, мм**» оставляем пустым, поскольку задается или сила преднатяга, или смещение преднатяга;
- задание постоянного режима работы достигается отсутствием флажка в опции **Динамическое нагружение**.

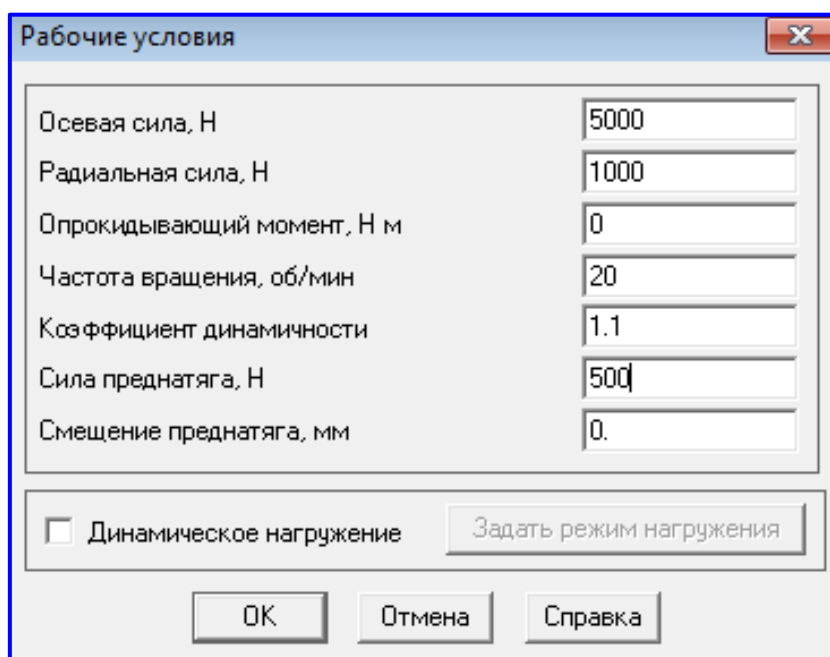


Рисунок 7.5 – Диалоговое окно «Рабочие условия»

7.5 Выполнение расчета

Для запуска на расчет выбираем пункт меню **Расчет!**. После окончания расчета становится активным пункт меню **Результаты**.

7.6 Просмотр результатов расчета.

Для просмотра результатов расчета выбираем пункт меню **Результаты....** В открывшемся диалоговом окне «**Результаты расчета**» (рисунок 7.6) можно просмотреть общие результаты расчета по нагруженной или ненагруженной полугайке (группа параметров *Резюме*). Кроме того, нажатием соответствующих кнопок можно вызвать диалоговые окна просмотра отдельных параметров передачи, таких как момент трения, потери мощности, различные смещения и т. д.

Нажатием кнопки «**Нормальные силы**» открывается диалоговое окно «**Нормальные силы**» (рисунок 7.7), аналогично можно посмотреть: потери мощности, ошибки смещения, радиальное смещение (рисунки 7.8 и 7.9).

В окне «**Нормальные силы**» показывается нагрузка на тела качения в

первом из рабочих витков шарико-винтовой передачи. Нажимая кнопку «Оборот», можно посмотреть распределение нормальных сил при различных положениях винта (100 значений), а с помощью кнопок «<» и «>» можно выбрать различные витки передачи.

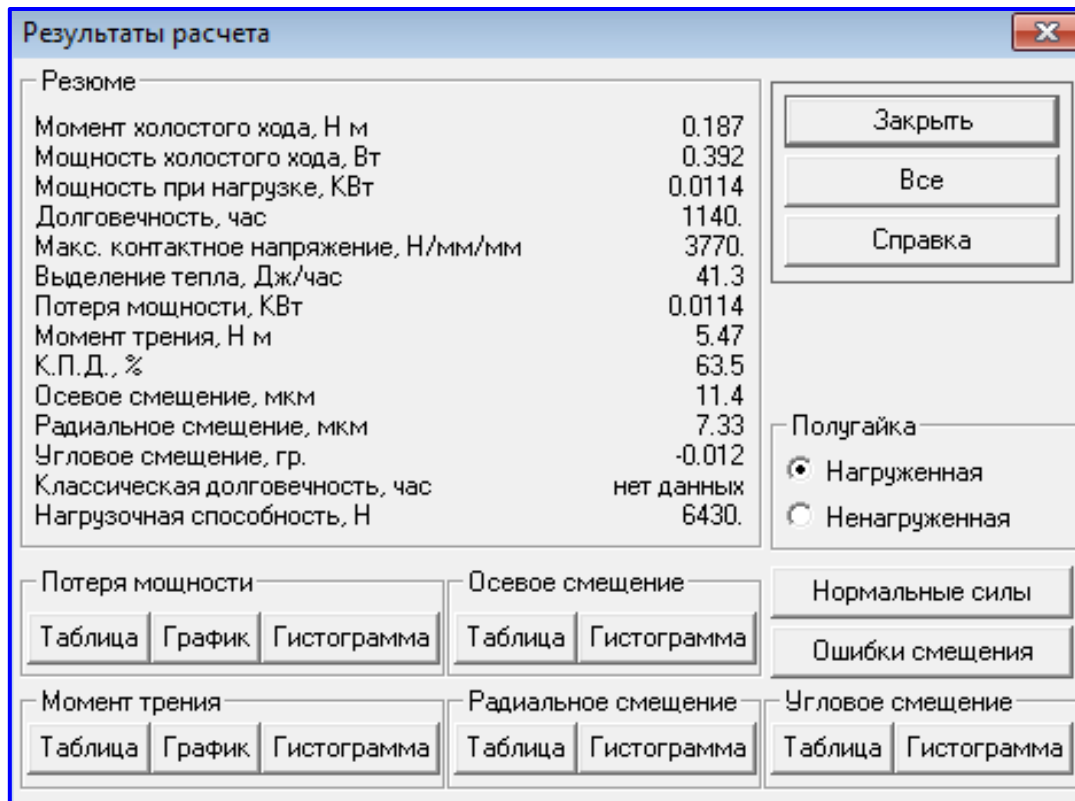


Рисунок 7.6 – Диалоговое окно «Результаты расчета» шарико-винтовой передачи с преднатягом»

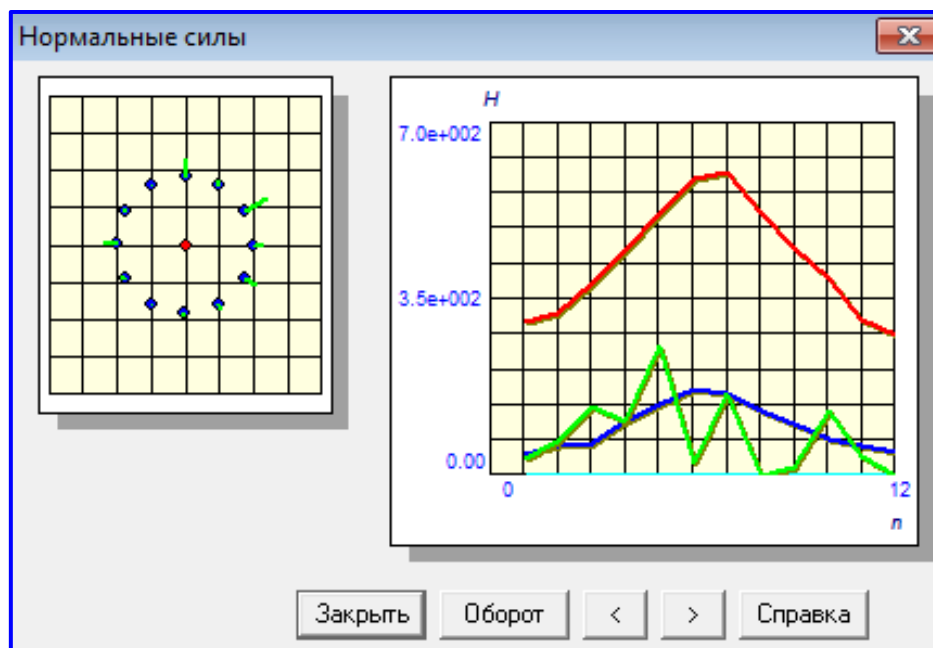


Рисунок 7.7 – Диалоговое окно «Нормальные силы»



а



б

Рисунок 7.8 – Диалоговые окна: *а* – «Потеря мощности» и *б* – «Ошибки смещения»

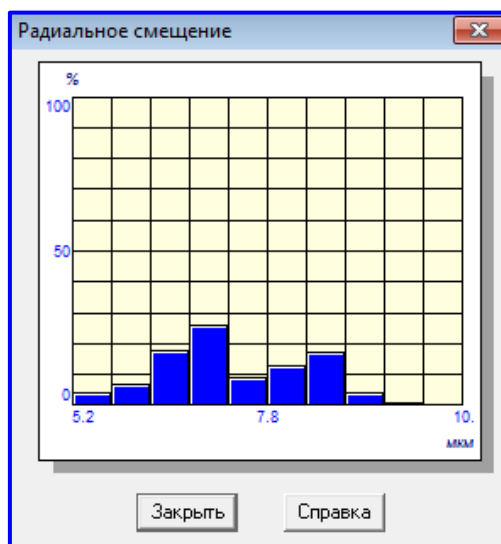


Рисунок 7.9 – Результаты смещения

7.7 Вывод результатов расчета на печать или в файл формата *.rtf

Для вывода результатов расчета на печать следует выбрать меню **Файл / Печать** и в открывшемся окне «**Данные для печати**» отметить флажками те результаты, которые требуется вывести на печать для выбранной (нагруженной и/или ненагруженной) полугайки. Вывод результатов расчета может быть осуществлен либо сразу на принтер (кнопка «**Печатать**»), либо в текстовый файл формата ***.rtf** (кнопка «**RTF**»), который может быть открыт в большинстве текстовых редакторов, так что пользователь имеет возможность его редактировать. Такая возможность особенно удобна в том случае, когда по результатам расчета нужно подготовить отчет по заданной форме.

Ниже представлены результаты расчетов сохраненные в формате ***.rtf**

Геометрия

Средний радиус винта, мм	25.000
Радиус тел качения, мм	3.000
Радиус дорожки, мм	3.120
Шаг винта, мм	12.000
Число тел качения в витке	12.000
Число рабочих витков	3.000

Допуски

Допуск на радиус дорожки винта, мм	0.0200
Допуск на радиус дорожки гайки, мм	0.0200
Допуск на шаг винта, мм	0.0300
Допуск на шаг гайки, мм	0.0320
Накопленная ошибка шага, мм	0.100

Рабочие условия

Осевая сила, Н	5000.000
Радиальная сила, Н	1000.000
Опрокидывающий момент, Н м	0.000
Частота вращения, об/мин	20.000
Коэффициент динамичности	1.100
Сила преднатяга, Н	500.000
Смещение преднатяга, мм	0.000

Резюме [нагруженная гайка]

Момент холостого хода, Н м	0.187
Мощность холостого хода, Вт	0.392
Мощность при нагрузке, КВт	0.0114
Долговечность, час	1140.000
Макс. контактное напряжение, Н/мм/мм	3770.000
Выделение тепла, Дж/час	41.300
Потеря мощности, КВт	0.0114
Момент трения, Н м	5.470
К.П.Д., %	63.500
Осевое смещение, мкм	11.400
Радиальное смещение, мкм	7.330
Угловое смещение, гр.	-0.0120
Нагрузочная способность, Н	6430.000

Резюме [ненагруженная гайка]

Момент холостого хода, Н м	0.187
Мощность холостого хода, Вт	0.392
Мощность при нагрузке, КВт	0.0114
Долговечность, час	1140.000
Макс. контактное напряжение, Н/мм/мм	2840.000
Выделение тепла, Дж/час	41.300
Потеря мощности, КВт	0.0114
Момент трения, Н м	5.470
К.П.Д., %	63.500
Осевое смещение, мкм	11.400

Радиальное смещение, мкм	7.330
Угловое смещение, гр.	-0.0120
Нагрузочная способность, Н	6430.000

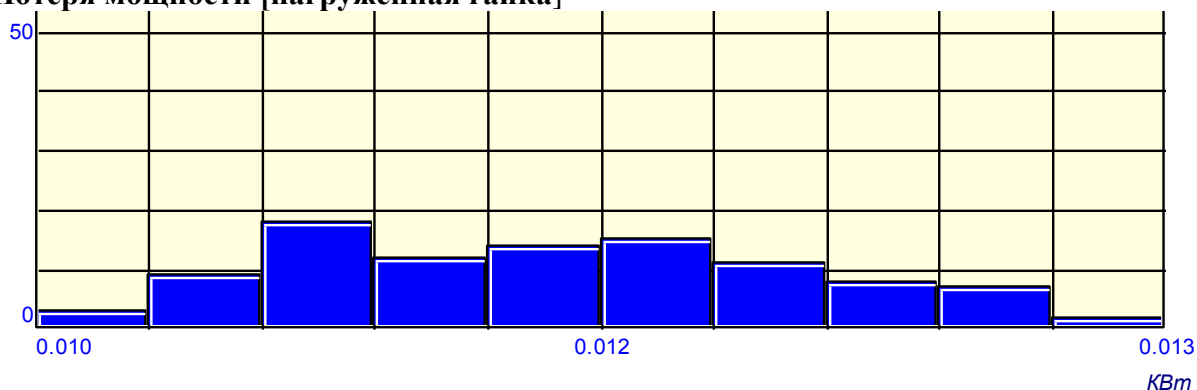
Потеря мощности, КВт [нагруженная гайка]

Математическое ожидание	0.0114
Вариация	4.54E-07
Стандартное отклонение	6.70E-04

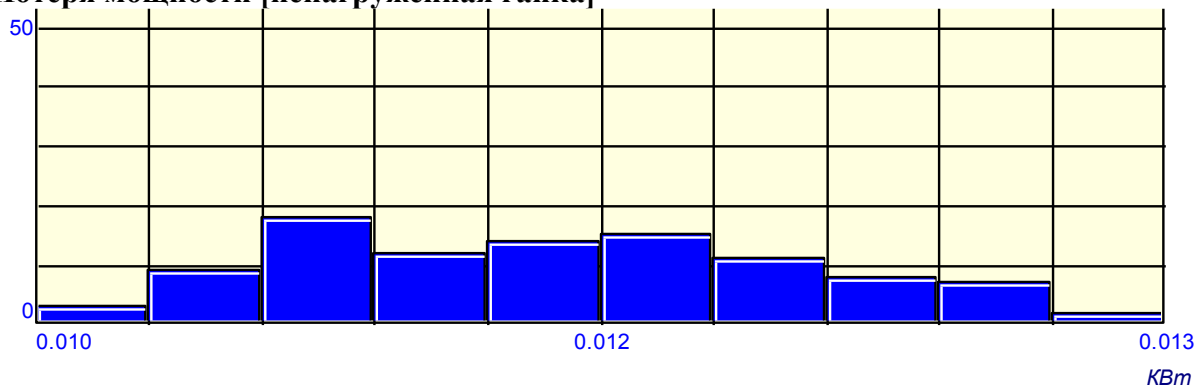
Потеря мощности, КВт [ненагруженная гайка]

Математическое ожидание	0.0114
Вариация	4.54E-07
Стандартное отклонение	6.70E-04

Потеря мощности [нагруженная гайка]



Потеря мощности [ненагруженная гайка]



Контрольная работа №7

Расчёт передачи скольжения, шарико-винтовой передачи с преднатягом, шарико-винтовой передачи и планетарной передачи в модуле APM Screw

Используя данные таблиц 7.1 – 7.5 выполнить расчеты: передачи скольжения, шарико-винтовой передачи с преднатягом, шарико-винтовой передачи и планетарной передачи в модуле APM Screw. В таблице 7.1 представлены варианты и номера видов передач выбираемых для расчета.

Таблица 7.1 – Варианты и номера передач для расчёта винтовых передач в модуле APM Screw

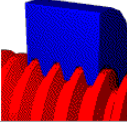
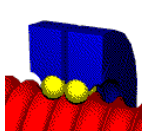
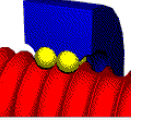
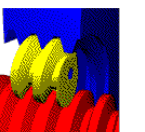
Варианты	Винтовые передачи			
				
№1	1.1	2.2	3.3	4,4
№2	1.2	2.3	3.4	4,1
№3	1.3	2.1	3.2	4,3
№4	1.4	2.2	3.3	4,4
№5	1.1	2.3	3.4	4,2
№6	1.2	2.4	3.3	4,4
№7	1.3	2.2	3.4	4,3
№8	1.4	2.3	3.1	4,2
№9	1.1	2.3	3.3	4,1
№10	1.2	2.1	3.4	4,3
№11	1.3	2.2	3.3	4,2
№12	1.4	2.2	3.3	4,1
№13	1.1	2.3	3.4	4,4
№14	1.2	2.1	3.1	4,1
№15	1.3	2.2	3.1	4,2
№16	1.4	2.3	3.2	4,3
№17	1.2	2.4	3.3	4,4
№18	1.3	2.3	3.4	4,1
№19	1.4	2.1	3.3	4,2
№20	1.4	2.3	3.4	4,3
№21	1.1	2.4	3.2	4,4
№22	1.2	2.2	3.3	4,4
№23	1.3	2.3	3.4	4,2
№24	1.1	2.1	3.1	4,1
№25	1.2	2.2	3.2	4,2
№26	1.3	2.3	3.3	4,3
№27	1.4	2.4	3.4	4,4
№28	1.3	2.4	3.2	4,4
№29	1.4	2.3	3.3	4,2
№30	1.1	2.1	3.4	4,1

Таблица 7.2 – Исходные данные для расчёта передач скольжения в модуле APM Screw

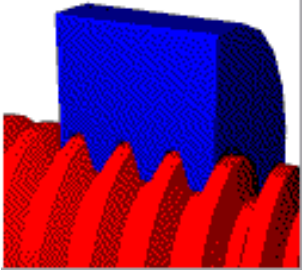
	Варианты:			
	1.1	1.2	1.3	1.4
Геометрия передачи				
Наружный диаметр винта, мм	50,00	120,00	100,00	80,00
Внутренний диаметр винта, мм	42,00	104,00	88,00	70,00
Шаг резьбы винта, мм	8,00	16,00	12,00	10,00
Высота гайки, мм	24,00	40,00	35,00	30,00
Допуски на изготовление				
Допуск на диаметр винта, мм	0,50	0,75	1,50	2,80
Допуск на диаметр гайки, мм	0,50	0,75	1,50	2,80
Допуск на шаг резьбы винта, мм	0,40	0,30	2,00	3,00
Допуск на шаг резьбы гайки, мм	0,40	0,30	2,00	3,00
Чистота поверхности винта, мкм	0,10	15,00	20,00	25,00
Чистота поверхности гайки, мкм	0,10	15,00	20,00	25,00
Рабочие условия передачи				
Осевая сила, Н	10000,00	35000,00	60000,00	80000,00
Частота вращения, об/мин	60,00	2000,00	1200,00	1400,00
Предел текучести, Н/мм/мм	15000,00	20000,00	18000,00	20000,00
Материал гайки (Н/У сталь, чугун, бронза)	чугун	бронза	Н/У сталь	чугун
Материал винта (Н/У сталь, В/У сталь)	В/У сталь	Н/У сталь	В/У сталь	Н/У сталь
Тип резьбы	Трапециодальная	Треугольная	Трапециодальная	Треугольная

Таблица 7.3– Исходные данные для расчёта шарико-винтовой передачи с преднатягом в модуле APM Screw

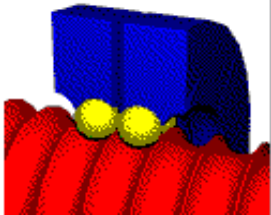
	Варианты:			
	2.1	2.2	2.3	2.4
Параметры передачи				
Геометрия передачи				
Средний радиус винта, мм	45,00	80,00	120,00	100,00
Радиус тел качения, мм	5,00	12,00	15,00	8,00
Радиус дорожки, мм	5,20	12,10	15,18	8,15
Шаг винта, мм	16,00	25,00	32,00	20,00
Число тел качения в витке	20,00	16,00	18,00	19,00
Число рабочих витков	4,00	8,00	6,00	5,00
Допуски на изготовление				
Допуск на радиус дорожки винта, мм	0,080	0,250	1,140	0,349
Допуск на радиус дорожки гайки, мм	0,080	0,250	1,140	0,349
Допуск на шаг винта, мм	0,100	0,300	1,250	0,250
Допуск на шаг гайки, мм	0,100	0,300	1,250	0,250
Накопленная ошибка шага, мм	0,150	0,200	3,120	1,150
Рабочие условия передачи				
Осевая сила, Н	8000,00	10000,00	20000,00	9000,00
Радиальная сила, Н	2000,00	2200,00	3100,00	1800,00
Опрокидывающий момент, Н*м	0,00	0,00	0,00	0,00
Частота вращения, об/мин	120,00	400,00	260,00	150,00
Коэффициент динамичности	1,60	2,30	3,50	2,79
Сила преднатяга*, Н	650,00	800,00	1100,00	750,00
Смещение преднатяга*, мм	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица 7.4 – Исходные данные для расчёта шарико-винтовой передачи в модуле APM Screw

	Варианты:			
	3.1	3.2	3.3	3.4
Параметры передачи				
Геометрия передачи				
Средний радиус винта, мм	50,00	30,00	100,00	120,00
Радиус тел качения, мм	6,00	4,00	8,00	10,00
Радиус дорожки, мм	6,10	4,15	8,12	10,15
Шаг винта, мм	14,00	15,00	20,00	24,00
Число тел качения в витке	16,00	18,00	21,00	18,00
Число рабочих витков	4,00	5,00	3,00	3,00
Допуски на изготовление				
Допуск на радиус дорожки винта, мм	0,020	0,005	0,180	0,050
Допуск на радиус дорожки гайки, мм	0,020	0,005	0,180	0,050
Допуск на шаг винта, мм	0,030	0,010	0,210	0,100
Допуск на шаг гайки, мм	0,030	0,010	0,210	0,100
Накопленная ошибка шага, мм	0,100	0,150	0,450	0,300
Рабочие условия передачи				
Осевая сила, Н	5000,00	4000,00	6000,00	8000,00
Радиальная сила, Н	1500,00	1200,00	2200,00	3200,00
Опрокидывающий момент, Н*м	0,00	0,00	0,00	0,00
Частота вращения, об/мин	20,00	45,00	60,00	80,00
Коэффициент динамичности	1,10	1,30	1,60	2,10

Таблица 7.5 – Исходные данные для расчёта планетарной передачи в модуле APM Screw

	Варианты:			
	4.1	4.2	4.3	4.4
Параметры передачи				
Геометрия передачи				
Средний диаметр винта, мм	37,500	50,000	75,000	87,500
Средний диаметр гайки, мм	172,500	230,000	345,000	402,500
Шаг винта, мм	15,000	20,000	30,000	35,000
Радиус профиля сателлита, мм	18,750	25,000	37,500	43,750
Число сателлитов	4,000	4,000	3,000	3,000
Число рабочих витков	1,000	3,000	4,000	3,000
Допуски на изготовление				
Допуск на диаметр винта, мм	0,020	0,005	0,150	1,100
Допуск на диаметр гайки, мм	0,020	0,005	0,150	1,100
Допуск на диаметр сателлита, мм	0,050	0,010	0,200	0,850
Допуск на шаг винта, мм	0,030	0,008	0,350	0,850
Допуск на шаг гайки, мм	0,030	0,008	0,350	1,100
Допуск на шаг сателлита, мм	0,100	0,025	0,400	1,100
Накопленная ошибка шага, мм	0,100	0,025	0,400	0,700
Рабочие условия передачи				
Осевая сила, Н	5000,00	10000,00	15000,00	20000,00
Радиальная сила, Н	1000,00	1500,00	2500,00	3000,00
Внешний момент, Н*м	100,00	220,00	250,00	300,00
Частота вращения, об/мин	20,00	35,00	80,00	120,00
Коэффициент динамичности	1,1	1,2	1,3	1,8
Сила преднатяга*, Н	500,000	800,000	1000,000	1200,000
Смещение преднатяга*, мм	0,000	0,000	0,000	0,000

Лабораторная работа №8

Проектирование и расчёт трёхмерных конструкций в модуле APM Structure 3D

Перед выполнением расчета балочного элемента необходимо изучить общие положения и научиться задавать элементы конструкций выполнив упражнения 8.1 и 8.2.

8.1 Общие положения

APM Win Structure 3D представляет собой универсальную систему для расчета рамных, пластинчатых, оболочечных, а также смешанных конструкций из конечных элементов.

С помощью программы Вы можете рассчитать произвольную трехмерную конструкцию, состоящую из стержней произвольного поперечного сечения, пластин и оболочек при произвольном нагружении и закреплении. При этом соединения элементов в узлах может быть как жестким, так и шарнирным.

В результате выполненных системой APM Win Structure 3D расчетов можно получить следующую информацию:

- нагрузки на концах элементов конструкции;
- карту напряжений по длине стержней и по поверхности пластин и оболочек конструкции;
- перемещения произвольной точки;
- карту распределения напряжений в произвольном сечении стержня;
- для отдельного стержня конструкции - эпюры изгибающих и крутящих моментов, поперечных и осевых сил и т.д.

Виды

В основе работы редактора лежит операция проецирования на плоскость. Такая плоскость называется видовой плоскостью или просто видом (рисунок 8.1). При редактировании конструкции пользователь работает с такими видовыми плоскостями. Видовая плоскость характеризуется двумя параметрами - поворотом и положением.

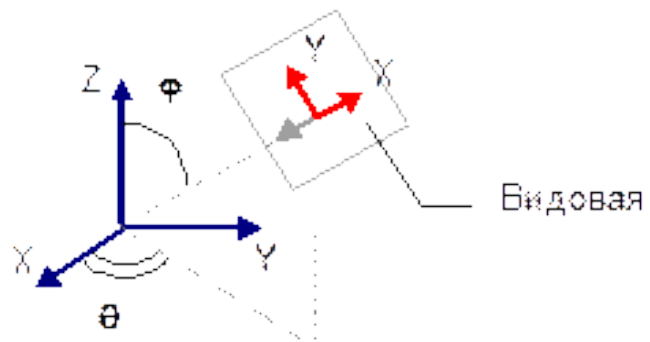


Рисунок 8.1 – Видовая плоскость в пространстве

Поворот определяет направление нормали плоскости и задается двумя углами - φ и θ , как и в сферической системе координат. Вторым параметром - положением в пространстве задается вектором.

Иногда, например при параллельном переносе плоскости в пространстве,

удобно задавать положение плоскости *глубиной*, скалярной величиной, равной расстоянию от центра координат до плоскости, аналогом ρ в сферической системе координат (рисунок 8. 2). Видовая плоскость имеет систему координат у которой направление оси Z совпадает с направлением нормали, а оси X и Y лежат в самой плоскости. В дальнейшем система координат плоскости будет называться *локальной*, а

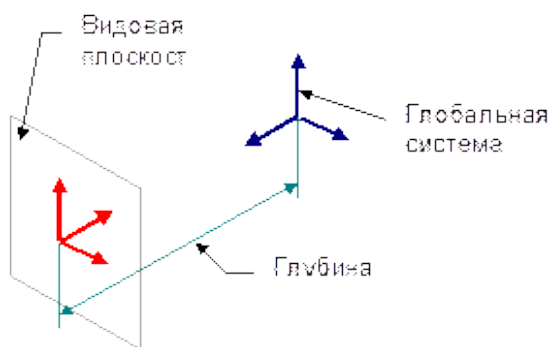


Рисунок 8.2 – Глубина вида

система координат мира – *глобальной*. Часто бывает удобно работать с локальными координатами.

Виды бывают *главные*, когда направление нормали совпадает с одной из осей системы координат. Такими видами являются вид *сверху*, *снизу*, *справа*, *слева*, *спереди* и *сзади*. Если направление нормали не совпадает с направлением одной из осей системы координат то такой вид называется *произвольным*.

В редакторе пользователю доступны 4 вида, представляемые в отдельных окнах, которые можно открывать, закрывать и располагать на экране, так как это удобно пользователю. Изначально видовые плоскости установлены как вид спереди, слева, сверху и произвольный или изометрический.

Для того что изображение оптимально размещалось на экране пользователь может его *масштабировать* и *прокручивать*. *Масштаб изображения* - это величина показывающая отношение размеров изображения к реальному размеру объекта. Прокрутка – это операция передвижения или сдвига изображения относительно окна.

Элементы редактора.

Редактор конструкций содержит в себе окна видов, меню, панели управления и панель состояния. Элементами вида являются узлы, стержни, нагрузки различного вида, вспомогательные точки, такие как, центр вращения и центр локальной системы координат и т.д. Все элементы вида изображаются отдельным цветом. Пользователь может изменять цвета всех элементов вида и сохранять эти установки цветов в группах называемых *палитрой* (команда **Вид Палитра**). Элементы редактора и вида показаны на рисунке 8.3.

Панель состояния служит для отображения основной нужной информации по текущей работе. Эта информация включает в себя: единицы измерения длины конструкции; координаты курсора; информация необходимая для текущей операции, например при рисовании окружности ее радиус, и название текущей операции. Панель состояния редактора конструкции показана ниже на рисунке 8.4.

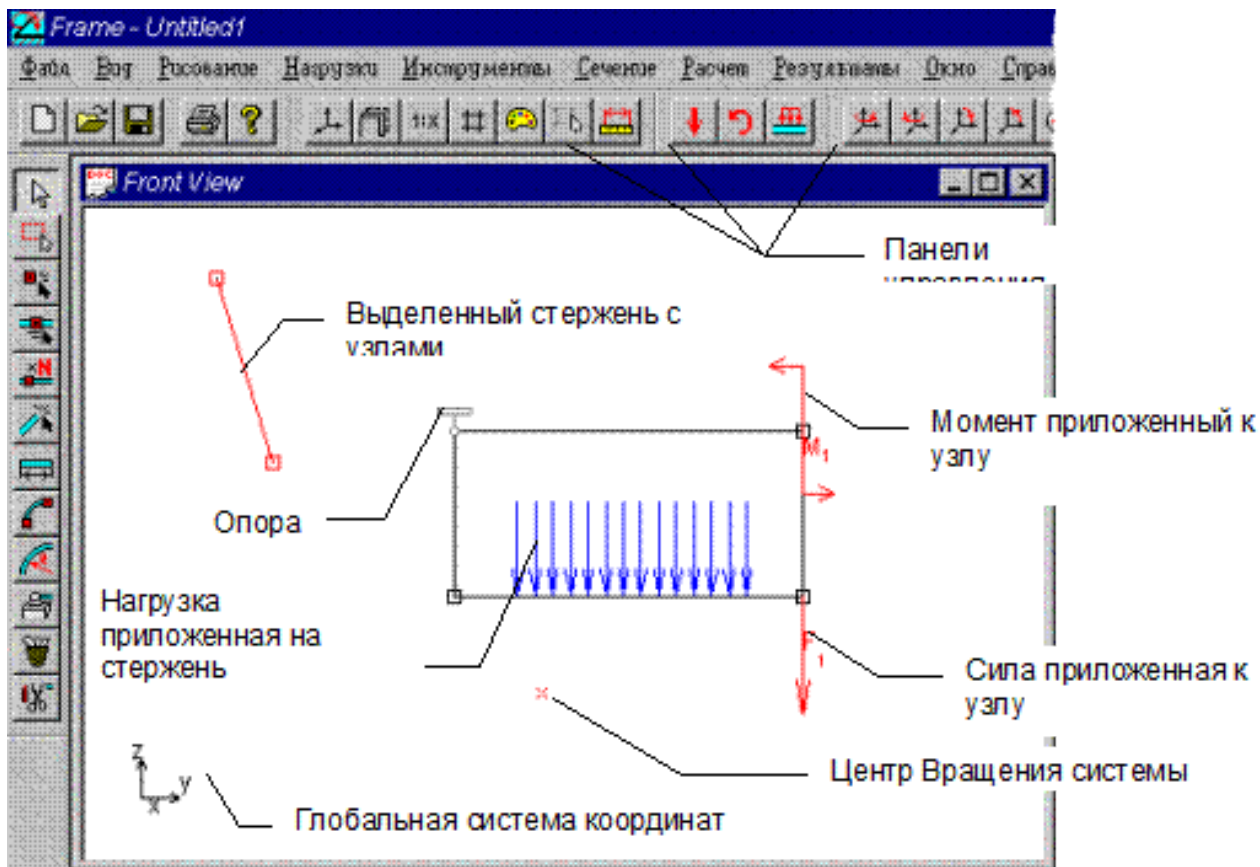


Рисунок 8.3 – Элементы редактора и вида.

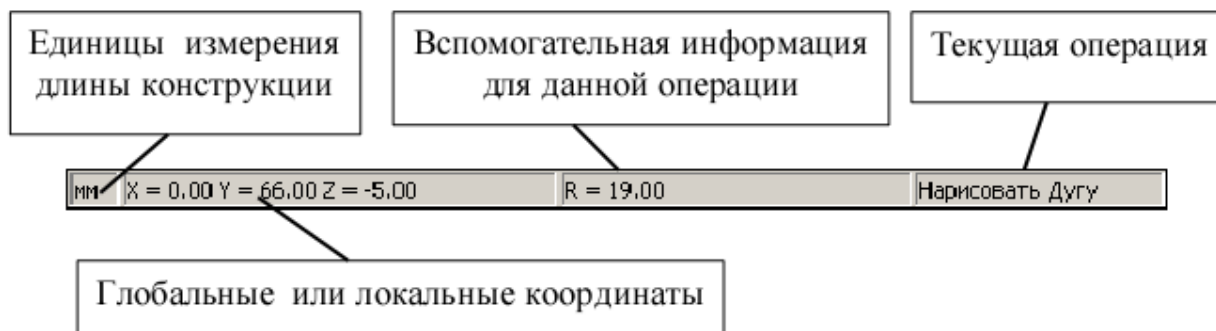



Рисунок 8.4 – Структура панели состояния редактора Win Structure 3D

Шаг курсора

Изменение координат курсора в редакторе происходит согласно шагу курсора. Шаг курсора определяет, до какой степени точности происходит округление координат при передвижении курсора в виде. В редакторе используются два шага курсора: линейный и угловой. Линейный шаг определяет точность округления координат и длин, угловой шаг – точность округления углов в таких операциях, как рисование дуги или стержня по углу и длине. Для изменения значений шагов курсора используйте команду **Вид - Шаг Курсора** . По умолчанию линейный шаг курсора равен 1 единице, измерения угловой – 1 градусу.

Для того чтобы облегчить процесс редактирования редактор конструкций Structure 3D работает с помощью режима привязки к узлам. Каждый узел в видовой плоскости имеет область чувствительности. Если курсор попадает в область чувствительности узла, то координаты курсора автоматически приравниваются координатам узла. Например, если вы, рисуя окружность, укажете центр так, что курсор попадет в зону чувствительности какого-нибудь узла, то центр окружности будет в точности располагаться в проекции этого узла на видовую плоскость. Узел, в чью зону чувствительности попадает курсор, окрашивается другим цветом. Размер области чувствительности может задаваться пользователем командой **Вид - Шаг Курсора** и равен по умолчанию 20 пикселям. Привязка отключена при нажатой клавише SHIFT.

Упражнение 8.1 Задание элементов конструкции

Основными элементами трехмерной конструкции являются узлы стержни, пластины и объемные элементы.

Узел – это точка соединения нескольких стержней.


Стержень – прямолинейная балка.

Пластина – плоский трех или четырех узловый элемент.

Объемный элемент – 3-х-мерный элемент в форме узлового октаэдра, 6- и – узловой треугольной призмы или 4-х –узлового тетраэдра.

Узлы, стержни, пластины и объемные элементы могут вводиться в произвольной последовательности.

Задание 1. Создание нескольких узлов

Узлы создаются при помощи команды **Новый узел** . Вначале необходимо выбрать такую видовую плоскость, чтобы она содержала в себе ту точку, в которую вы хотите поместить узел, после этого, следя за координатами в панели управления, необходимо щелкнуть мышкой в точке с нужной координатой. Если нужно отредактировать положение этого узла либо определить его координаты, необходимо щелкнуть в этом же режиме по выбранному узлу правой кнопкой мыши. Тогда появится диалоговое окно (рисунок 8.5), в котором можно уточнить координаты созданного узла либо организовать в этом узле шарнир.

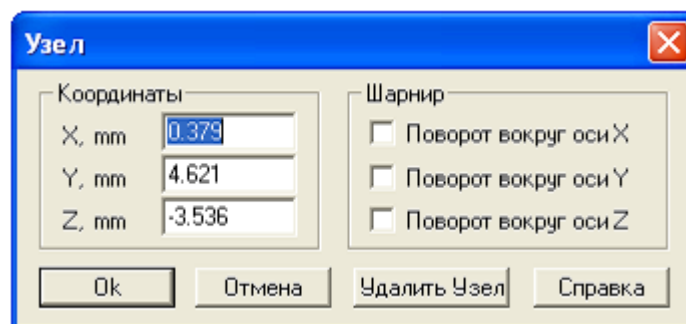




Рисунок 8.5 – Задание координат узла и закрепление шарнира

Задание 2. Создание стержней различными способами

Стержни могут быть созданы двумя способами.

Первый способ (команда **Рисование - Стержень - По Координатам и (Новый стержень** )) позволяет вам рисовать стержень, используя координаты его узлов. Команда устанавливает режим простановки стержней. В этом режиме могут соединяться уже существующие узлы или создаваться новые. Первым щелчком задается первый узел, вторым второй. Если вы уже выбрали или создали первый узел, нажатием правой кнопки мыши вы можете отменить команду.

Второй способ позволяет рисовать стержень, задавая начальный узел, направление и длину. Для его использования выберите команду **Рисование – Стержень - По Длине и Углу** . Команда переводит редактор в режим построения стержней в плоскости вида, задавая направление и длину. Стержень может быть построен только из уже существующего узла. Направление стержня может отсчитываться от горизонтали и от другого стержня. Если первым щелчком мыши выбирается узел, то отсчет угла ведется от горизонтали, если выбирается стержень, то отсчет угла ведется от этого стержня, в таком случае следующим щелчком необходимо выбрать узел. Следующий щелчок мыши фиксирует направление стержня, после чего можно изменять только длину стержня. Последний щелчок создает стержень.

Правый щелчок мыши вызывает диалоговое окно (рисунок 8.6), которое позволяет уточнить угол и длину стержня или отменить команду.

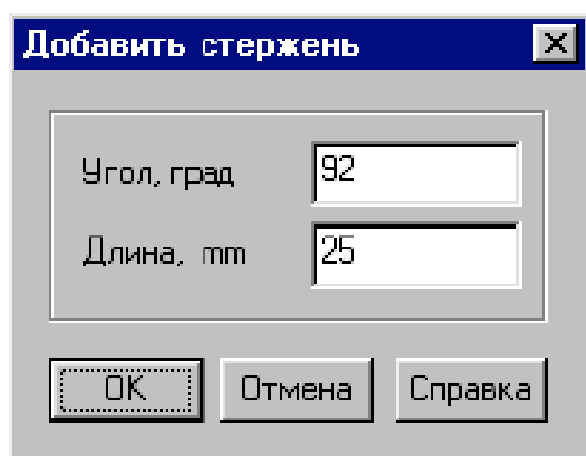



Рисунок 8.6 – Диалоговое окно «Добавить Стержень»

Кроме этого вы можете поставить дополнительный узел на стержне или его продолжении командой **Рисование – Узел – На Стержне (Новый узел на стержне** ). Первым щелчком мыши выберите нужный стержень, затем мышью двигайте появившийся узел, вторым щелчком мыши зафиксируйте положение узла в пространстве.

При этом появляется диалоговое окно, в котором подкорректировать положение узла на стержне. Положение узла задается двумя способами: координатой относительного одного из концов стержня или отношением полной длины стержня к длине части стержня. Переключатели группы *Положение*

Узла позволяют выбирать один из этих способов. Переключатели группы *Отсчет координаты от* позволяют выбирать один из двух узлов стержня, в качестве системы отсчета.

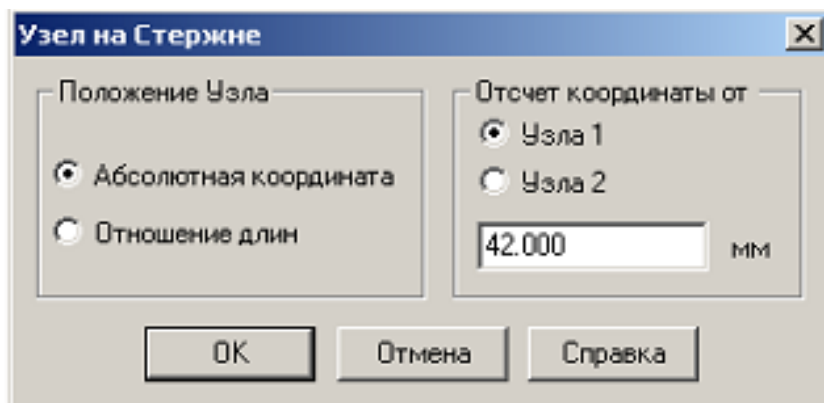



Рисунок 8.7 – Диалоговое окно Узел на стержне

Команда Рисование – Стержень – Разбить Стержень  позволяет разбить стержень на произвольное количество равных частей. После вызова команды на экране появляется диалоговое окно, которое позволяет задать число стержней.

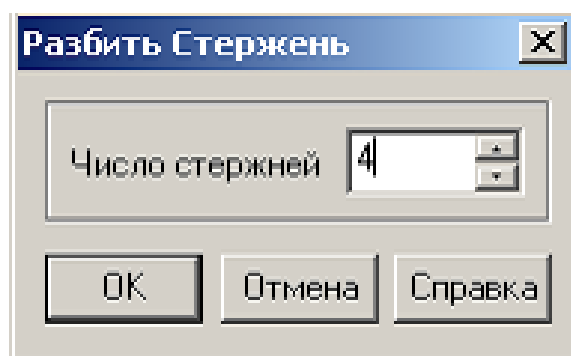




Рисунок 8.8 – Диалоговое окно Разбить стержень

Сечения стержней

Каждому стержню должно быть присвоено определенное сечение. Сечения хранятся в библиотеках сечений. Система включает в себя библиотеки стандартными профилями металлопроката. Файлы библиотек сечений имеют расширение slb.

Чтобы задать стержню или группе стержней сечение из библиотеки используйте команды **Свойства – Сечение выделенным стержням (Сечения Выделенным)** ) и **Свойства – Сечение всей Конструкции (Сечение всей Конструкции)** )

Создание нового сечения осуществляется в редакторе сечений, в который можно перейти командой **Файл – Новый – Сечение**. Процесс задание сечения полностью совпадает с заданием сечения в редакторах балок. Совпадают

и команды этих двух редакторов. Кроме команд рисования сечения в редакторе сечений Structure 3D добавлены команды для создания библиотеки сечений, а также добавления и получения сечения из уже существующей библиотеки.

Точка привязки сечения стержня

Ось стержня может проходить через любую точку сечения. Точка привязки сечения (или ее смещение) устанавливается командой **Свойства – Точка привязки сечения**. По умолчанию ось стержня проходит через центр масс сечения, что соответствует нулевому смещению (рисунок 8.9 а). На рисунке 8.9 б) показан пример стержня с привязкой сечения по центру снизу.

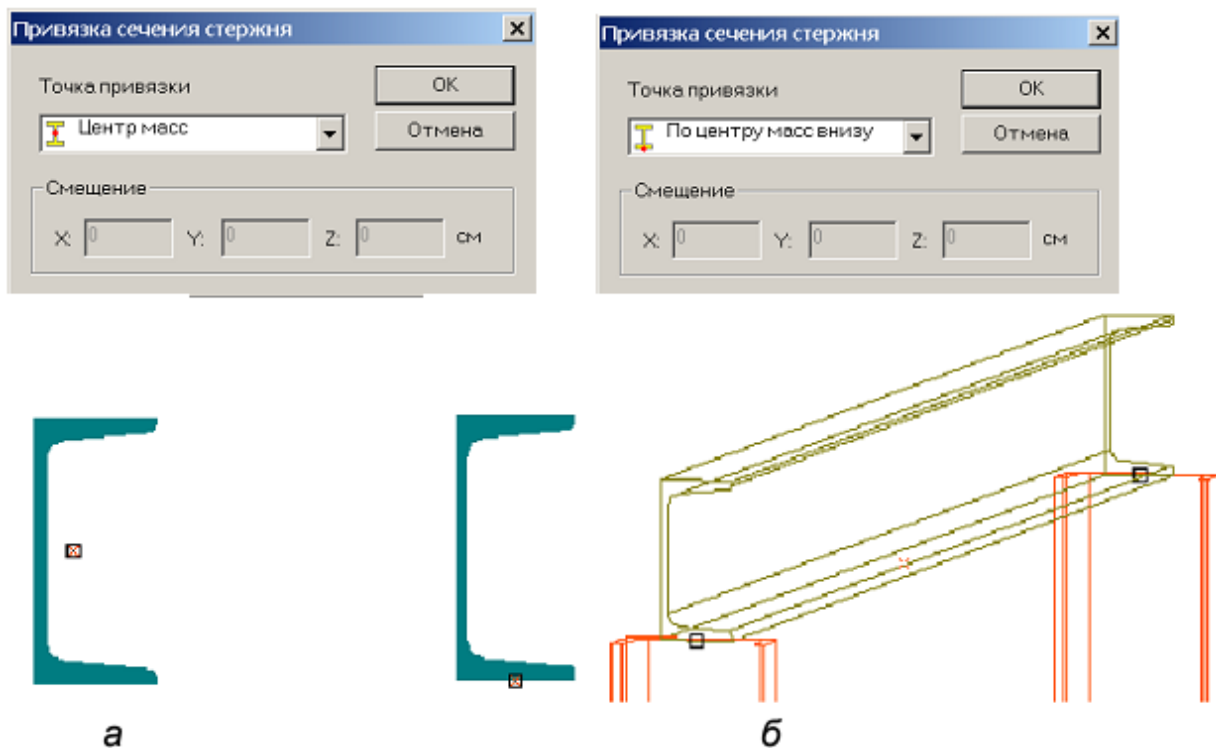


Рисунок 8.9 – Точка привязки сечения

8.2 Расчёт балочного элемента конструкций в модуле APM Structure 3D

Цель работы: Научиться выполнять расчёт балки в модуле APM Structure 3D на общем примере и по индивидуальному заданию.

Пример расчета балочного элемента

Общий порядок расчета

1. Задание единиц параметров расчета;
2. Задание узлов;
3. Задание сегментов балки;
4. Задание опор;
5. Задание радиальных сил;
6. Задание изгибающих моментов;
7. Задание параметров материала балки;
8. Проведение расчета;
9. Просмотр и вывод результатов расчета на печать.

Задача

Провести расчет балки AC, изготовленной из стали 40, со следующими параметрами поперечных сечений:

- Участок AB – двутавр высотой 200 мм. ГОСТ 26020-83 (Б).
- Участок BC – труба квадратная со стороной 180 мм и толщиной стенки 10 мм. ГОСТ 8639-82.

Схема нагружения балки приведена на рисунке 8.10.

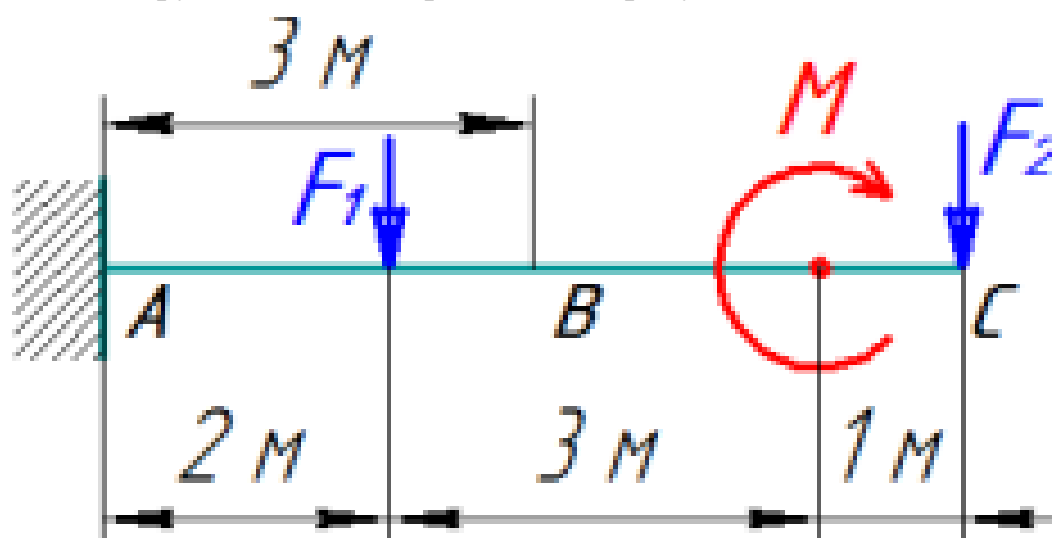


Рисунок 8.10 – Схема нагружения балки


В результате расчета следует определить напряжения в наиболее нагруженном сечении, а также эпюры всех силовых факторов.

Решение


8.2.1 Задание единиц параметров расчета

Запускаем APM Integrator, ярлык на рабочем столе 

Выбираем меню «Конечно-элементный анализ», запускаем модуль APM

Structure 3D .

В открывшемся модуле нажатием левой кнопки мышки активируется **Вид спереди**.

Для открытия панели **Установки** (рисунок 8.11), в меню **Вид** выбираем элемент **Единицы** .

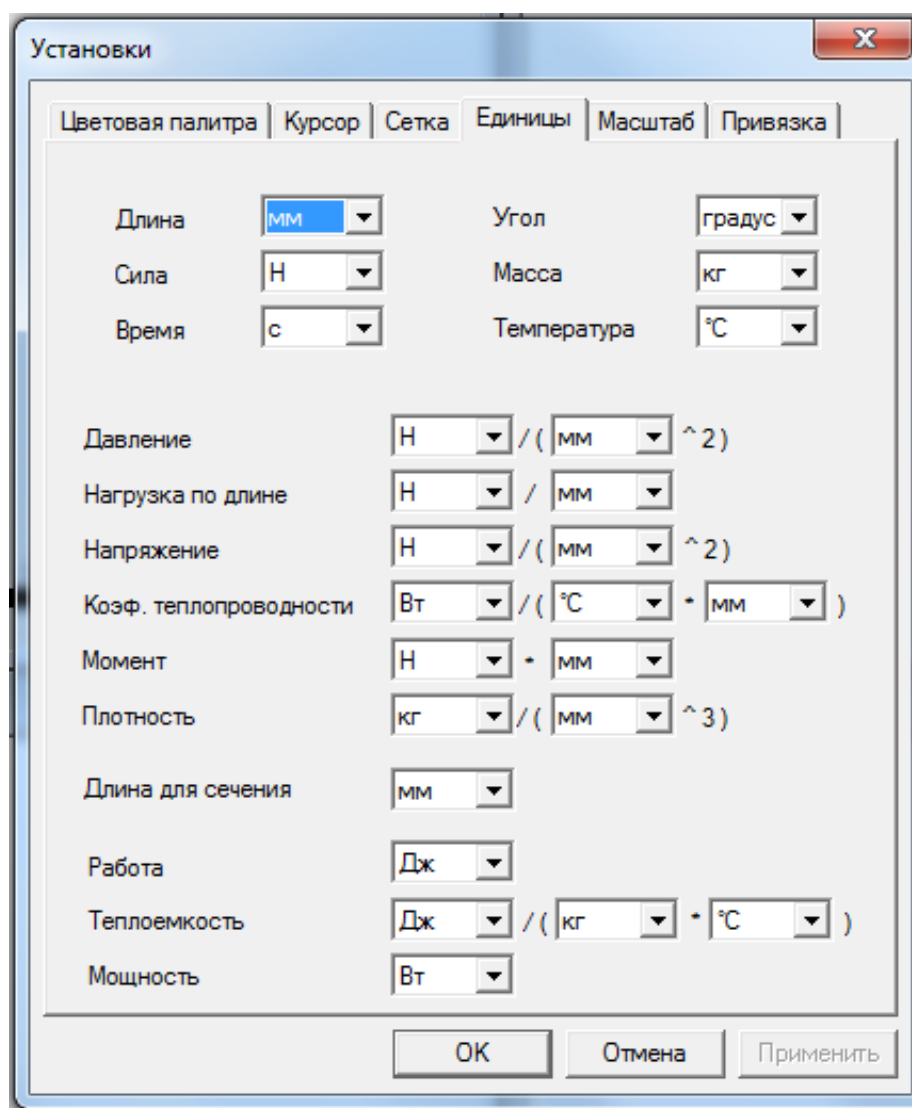


Рисунок 8.11 – Панель Установки

В открывшейся панели **Установки** выбираем единицу измерений **Длина** – м. В этой же панели переходим на закладку **Сетка** и задаем параметры сетки (рисунок 8.12).

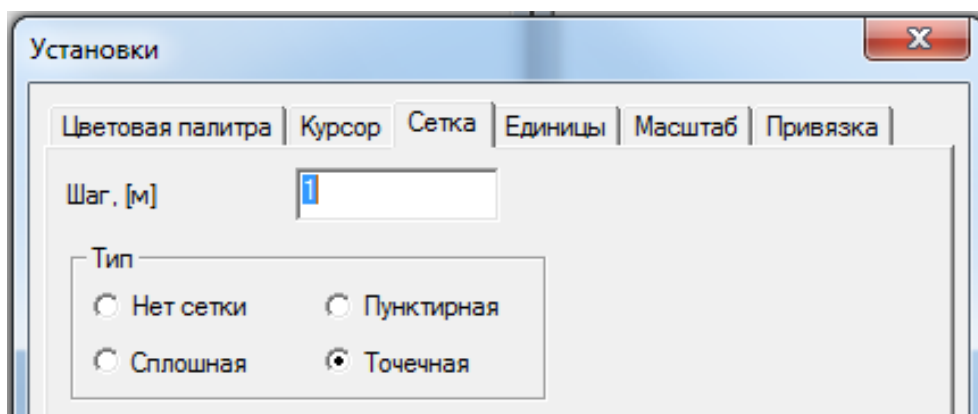


Рисунок 8.12– Панель установки в режиме задания **Сетка**

Переходим на закладку **Курсор** и задаем параметры шага курсора (рисунок 8.13).

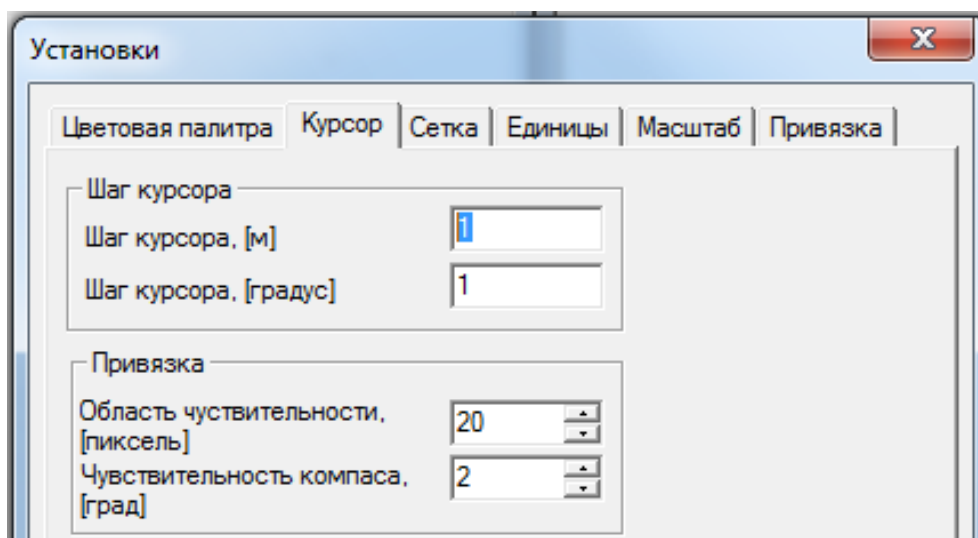



Рисунок 8.13 – Панель установки в режиме задания **Шага курсора**

8.2.2 Задание узлов рассчитываемой балки АС

Согласно схемы нагружения представленной на рисунке 8.10 длина участка АВ и ВС равны 3 м. Вертикальная сила, направленная вниз $F_1 = 40$ кН и приложена на расстоянии 2 м от точки А, вертикальная сила, направленная вниз $F_2 = 20$ кН и приложена в точке С. На расстоянии 5 м от точки «А», на балку действует момент $M = 30$ кН·м.

Узлы и стержни можно вводить в произвольной последовательности. Задание узлов довольно простая операция. Вначале необходимо выбрать такую видовую плоскость, чтобы она содержала в себе ту точку, в которую Вы хотите поместить узел, после этого, следя за координатами в панели управления, необходимо щелкнуть мышкой в точке с нужной координатой.

Активируем окно **Вид спереди**, на панели **Рисование** выбираем элемент **Узел** , и ориентируясь по сетке экрана, располагая горизонтально создаем пять узлов начиная с узла в точке «А», выбирая их координаты в соответствии

со схемой нагружения балки (рисунок 8.14). Первый узел – точка «А», второй узел – точка приложения силы F_1 , третий узел – точка «В», четвертый узел – точка приложения момента и пятый узел – в точке «С», где приложена сила F_2 .

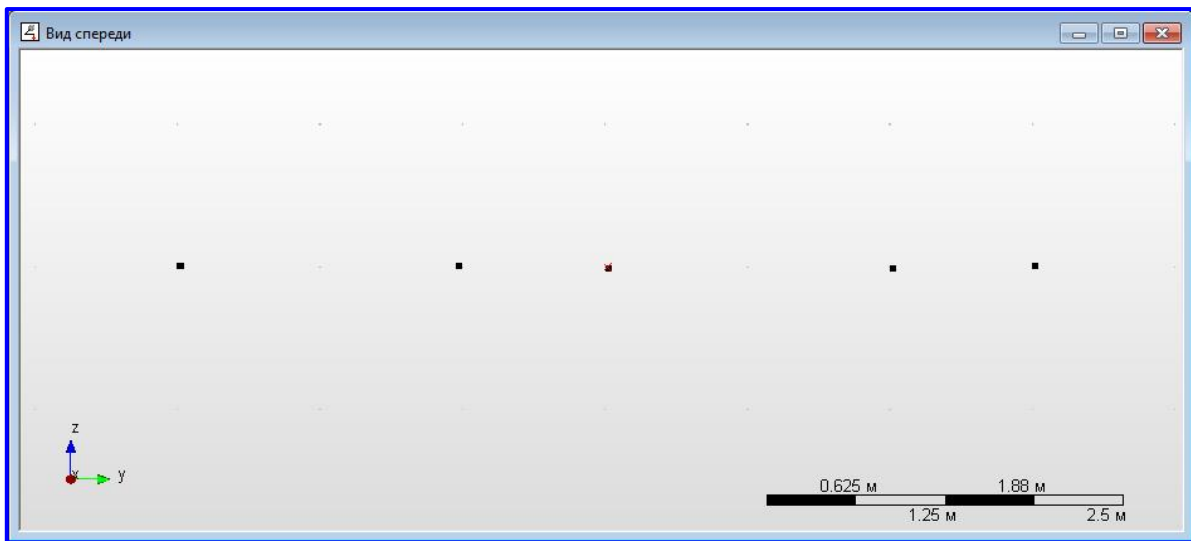



Рисунок 8.14 – Вид спереди. Задание узлов рассчитываемой балки АС

8.2.3 Задание сегментов балки АС

На панели **Рисование** активируем команду **Стержень**  и соединяя узлы стержнями создаем балку АС.

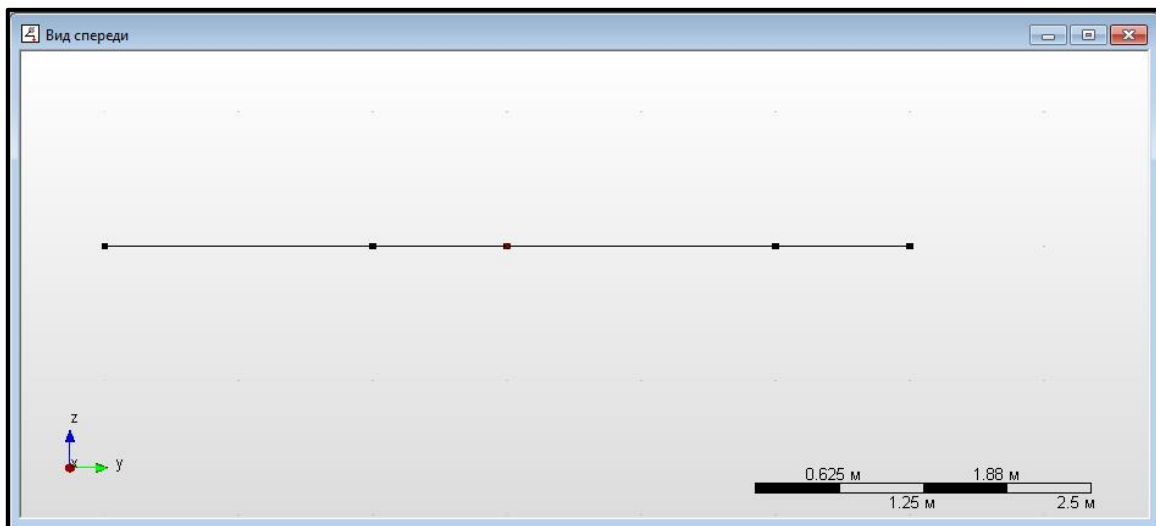



Рисунок 8.15 – Задание сегментов балки АС

8.2.4 Задание опор балки АС

Рассчитываемая балка АС по условию задачи жестко закреплена в точке «А» – крайний левый узел. На панели **Рисование** выбираем элемент **Жесткое закрепление**  и ставим это закрепление на крайнем левом узле. В появившемся меню вводим настройки для узла в точке «А» (рисунок 8.16).

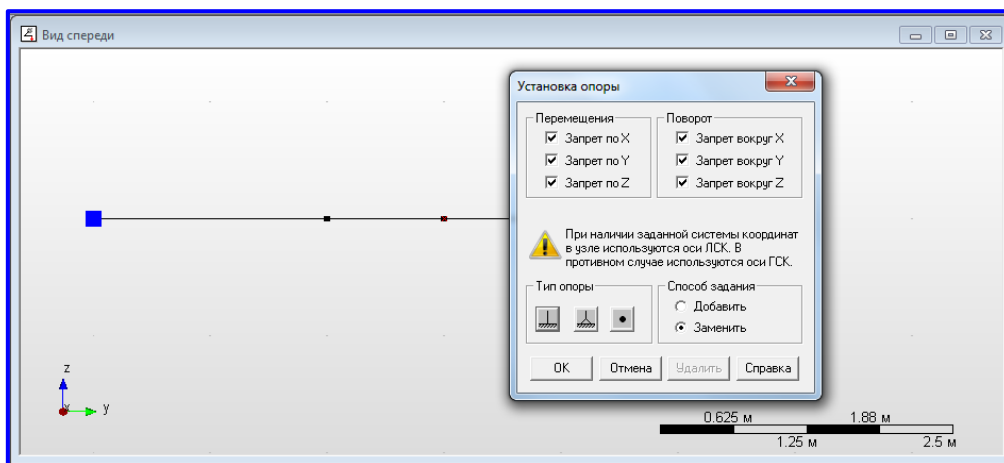



Рисунок 8.16 – Задание опор балки

8.2.5 Задание радиальных сил

На панели **Нагрузки** выбираем элемент **Сила к узлу**  и расставляем в точках приложения сил F_1 и F_2 в соответствии с условием задачи. По условию, радиальные силы направлены вниз, и чтобы это условие соблюдалось необходимо поставить знак «-» перед значениями силы задаваемые в Н.

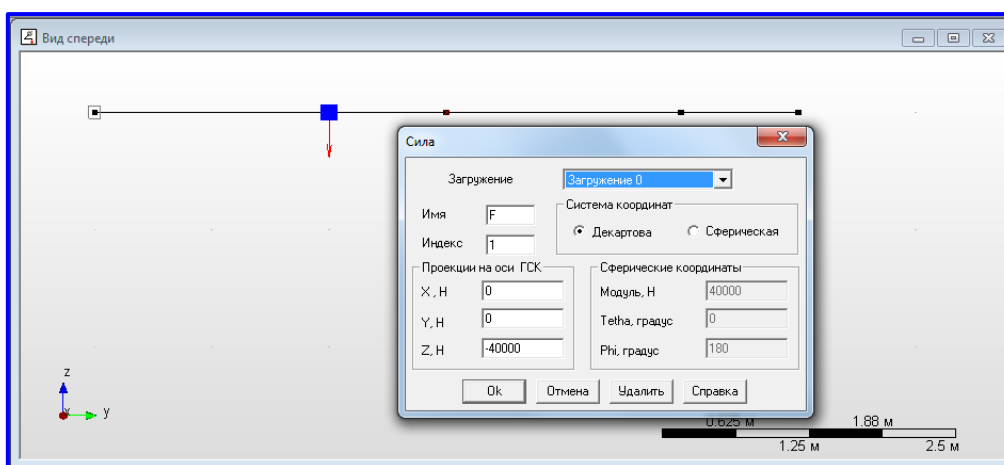


Рисунок 8.17 – Задание радиальной силы на втором узле

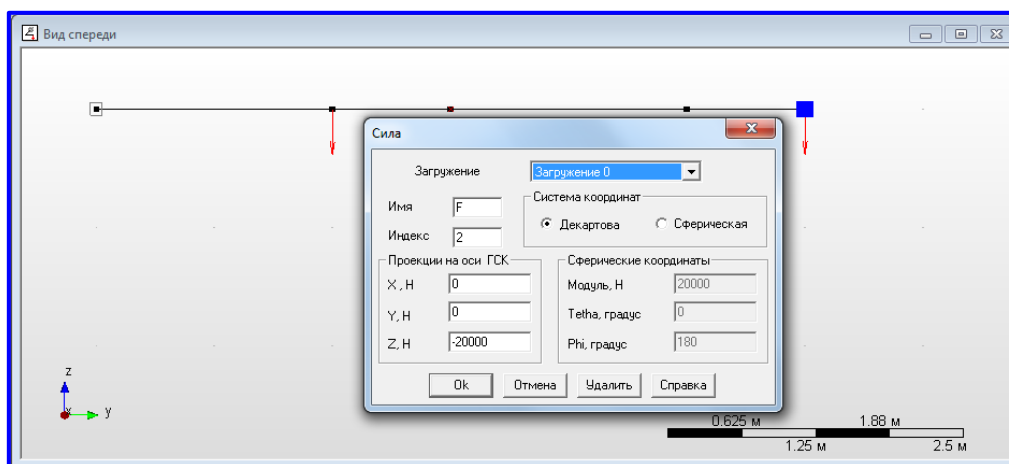



Рисунок 8.18 – Задание радиальной силы в точке «С»

8.2.6 Задание изгибающих моментов

На панели **Нагрузки** выбираем элемент **Момент к узлу**  и прикладываем момент к четвертому узлу, на расстоянии 5 м от точки «А». При задании модуля момента необходимо поставить знак минус.

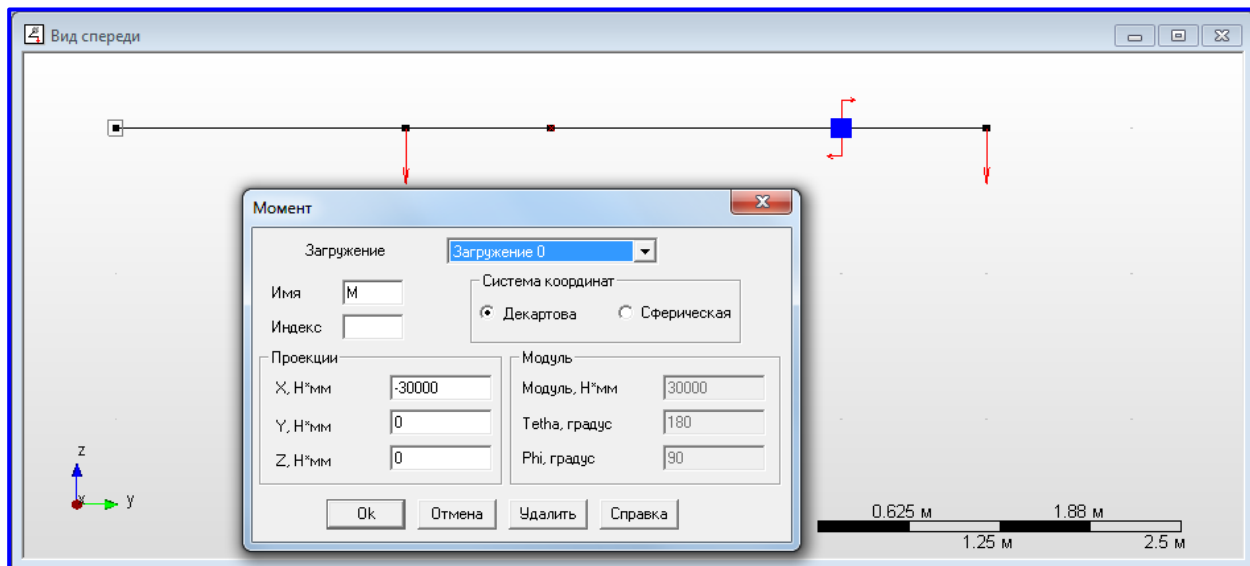



Рисунок 8.19 – Задание момента

8.2.7 Задание параметров материала балки

По условию задачи балка составлена из двух разного сечения элементов: участок АВ – двутавр высотой 200 мм, и участок ВС – труба квадратная со стороной 180 мм и толщиной стенки 10 мм.

Для задания параметров материала балки на панели **Рисование** выбираем элемент **Редактирование**  и выделяем стержни между узлами «А» и «В» (рисунок 8.20).

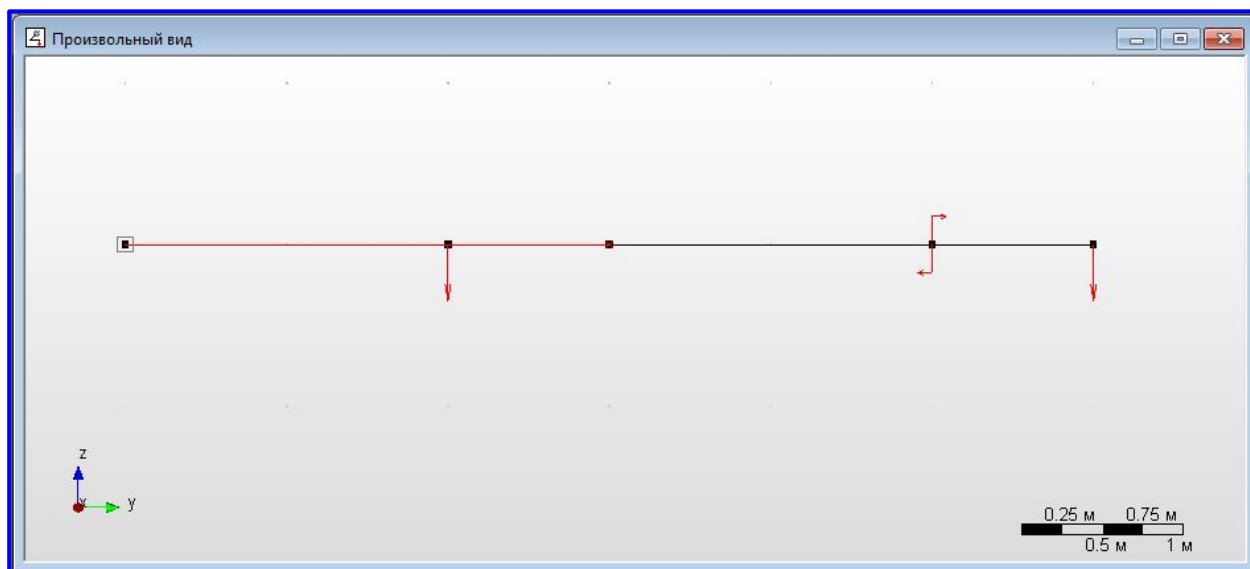



Рисунок 8.20 – Задание параметров материала между узлами «А» и «В»

На панели **Свойства** выбираем элемент **Сечение стержням**  и в появившемся меню **Библиотека** нажимаем **Загрузить** (рисунок 8.20).

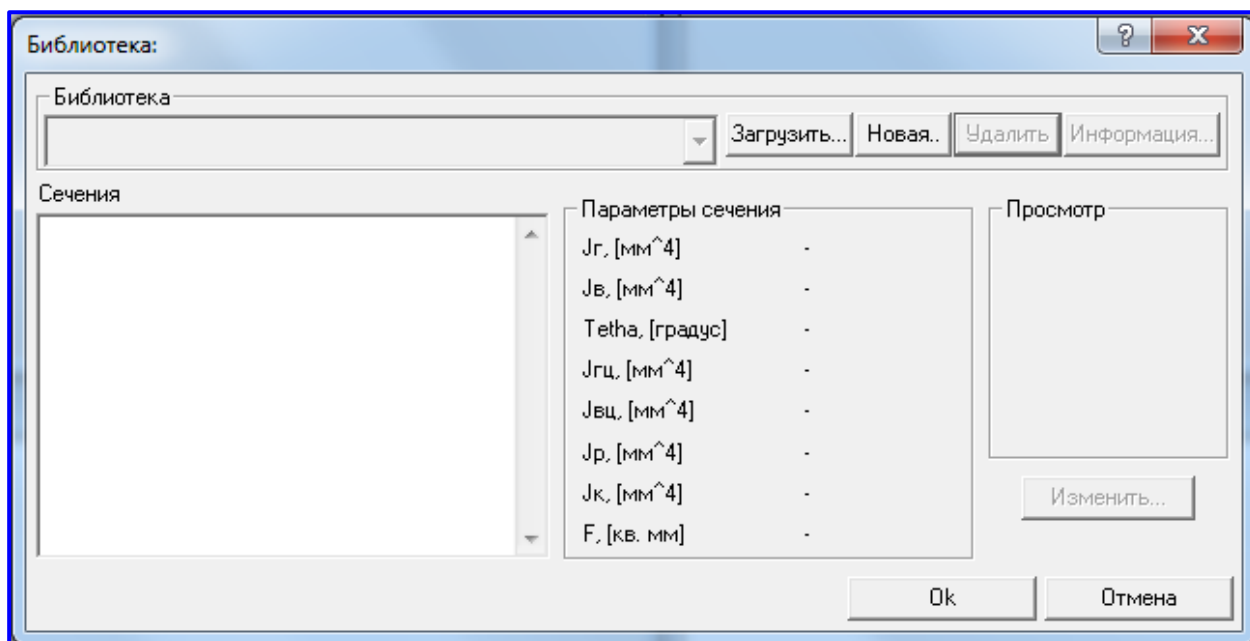


Рисунок 8.21 – Меню библиотека

В дереве каталогов используем путь C:/Programfiles/APM 14x64 и находим библиотеку нужного материала.

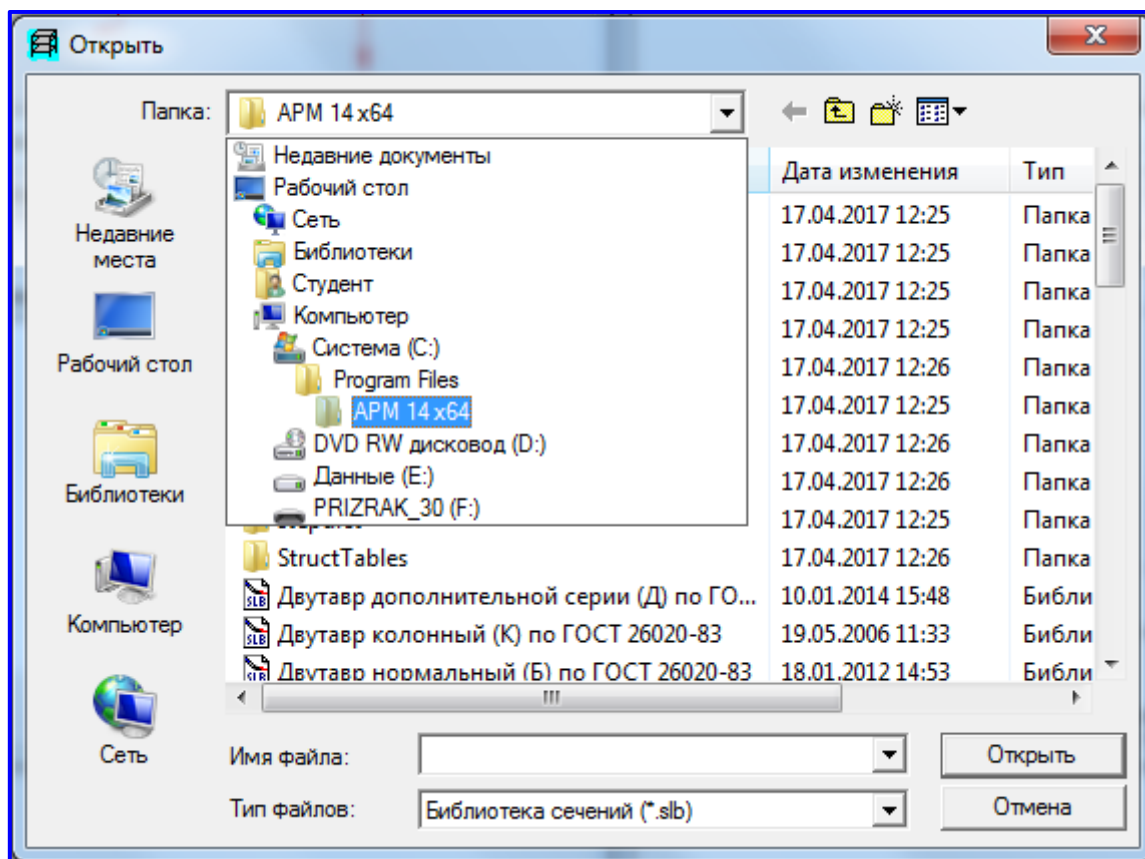


Рисунок 8.22 – Открытие библиотеки материала в дереве каталога

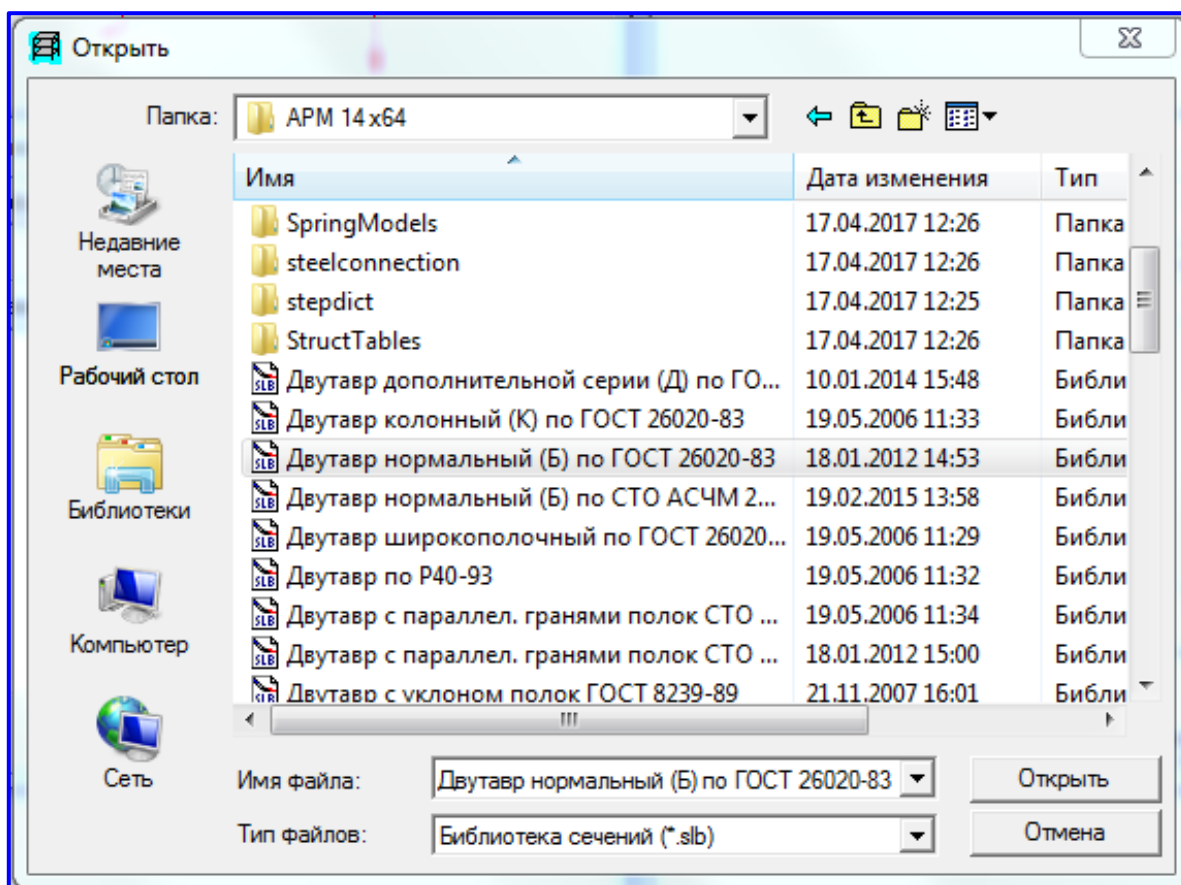


Рисунок 8.23 – Выбор материала из базы данных APM WinMachine

В открывшемся перечне двутавров выбираем Двутавр20Б 1 ГОСТ 26020.83 и нажатием левой кнопки мышки **Ок** (рисунок 8.24).

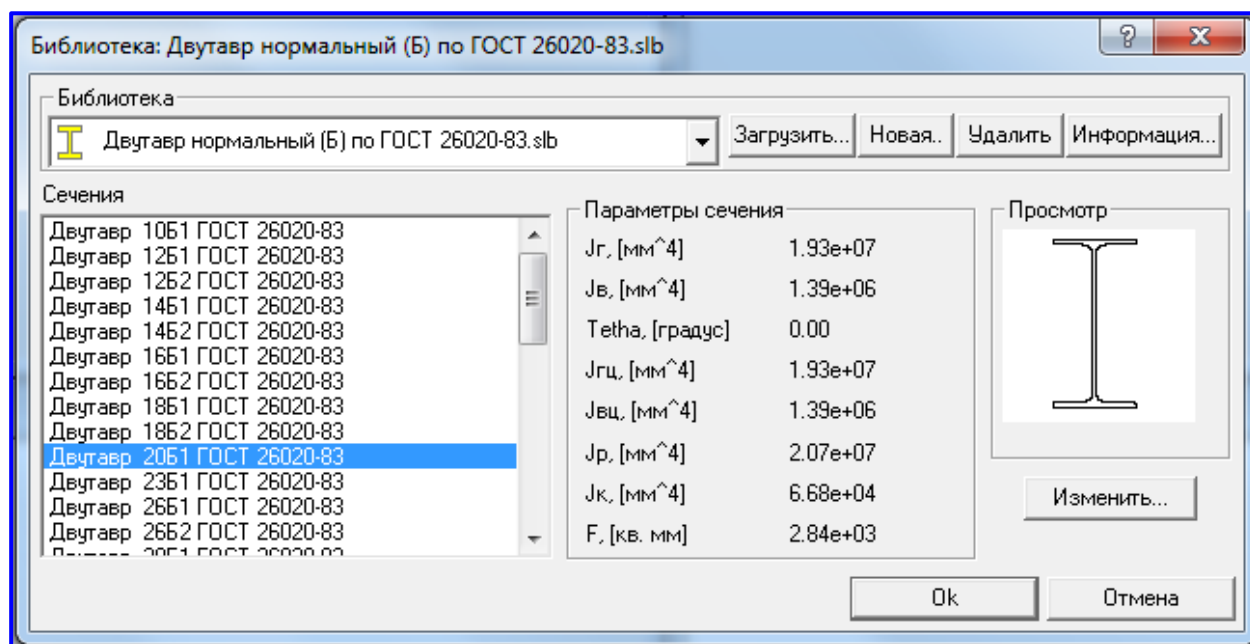



Рисунок 8.24 – Выбор материала Двутавр 20Б 1 по ГОСТ 26020.83

На панели **Вид** выбираем режим **Объемные сечения** , проверяем правильность заданного материала (рисунок 8.25).

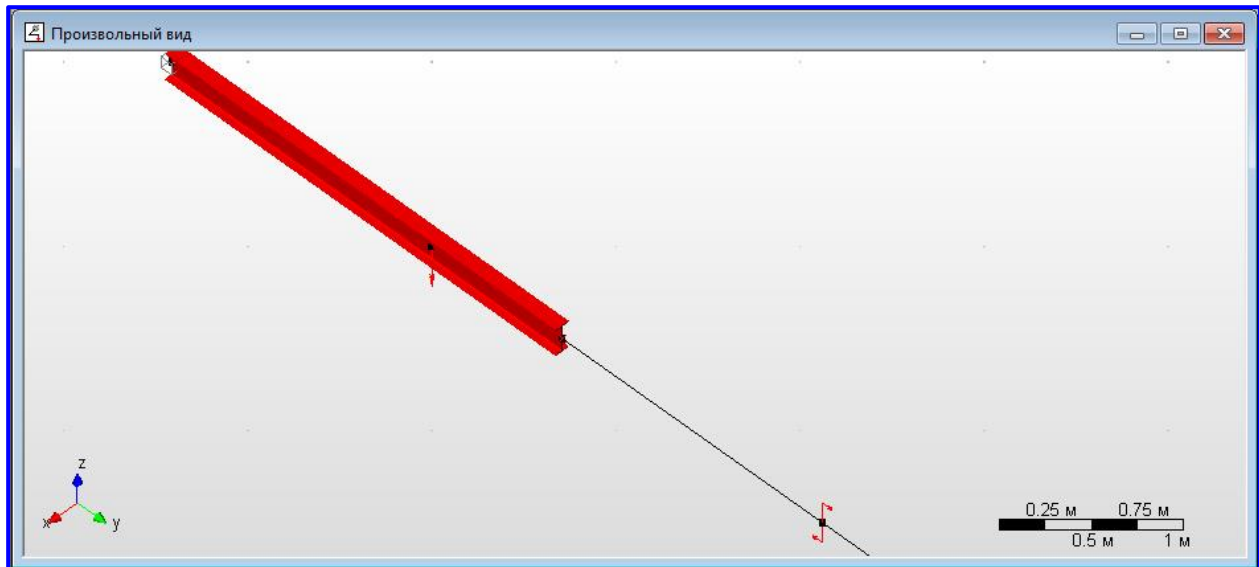



Рисунок 8.24 – Просмотр выбранного сечения

Возвращаемся в режим **Показать стержни**  и повторяем все операции для задания материала для части балки ВС согласно условиям задачи.

В итоге получим следующий элемент, представленный на рисунке 8.25.

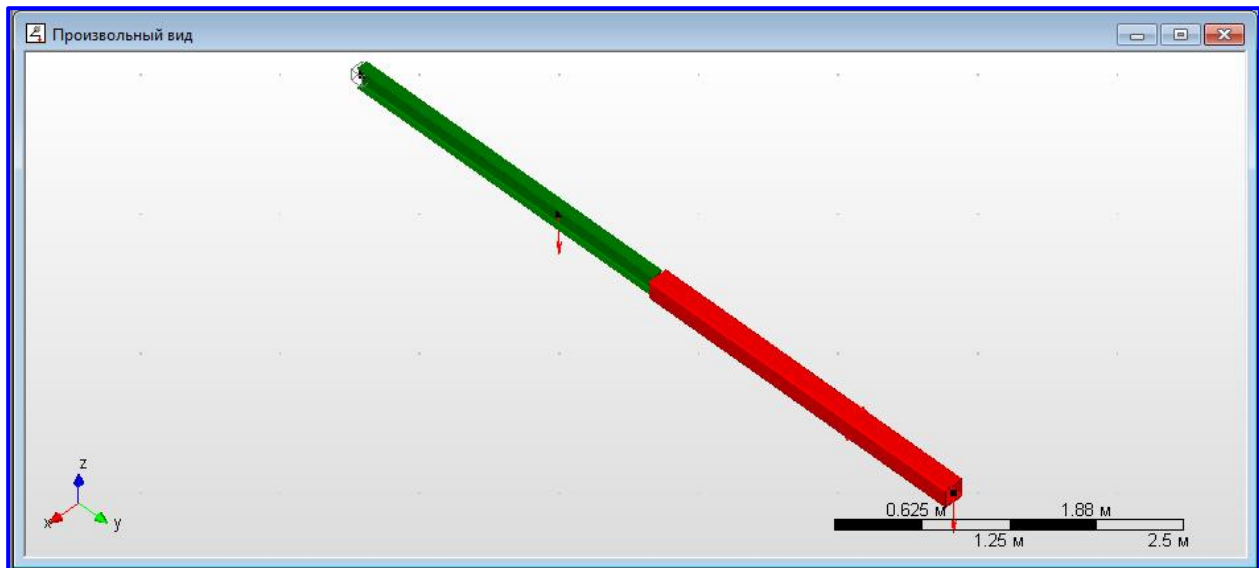


Рисунок 8.25 – Балка в режиме Объемные сечения

8.2.8 Проведение расчета

В меню **Расчеты** выбираем **Расчет**, затем выбираем линейный статистический расчет и нажимаем **ОК** (рисунок 8.26).

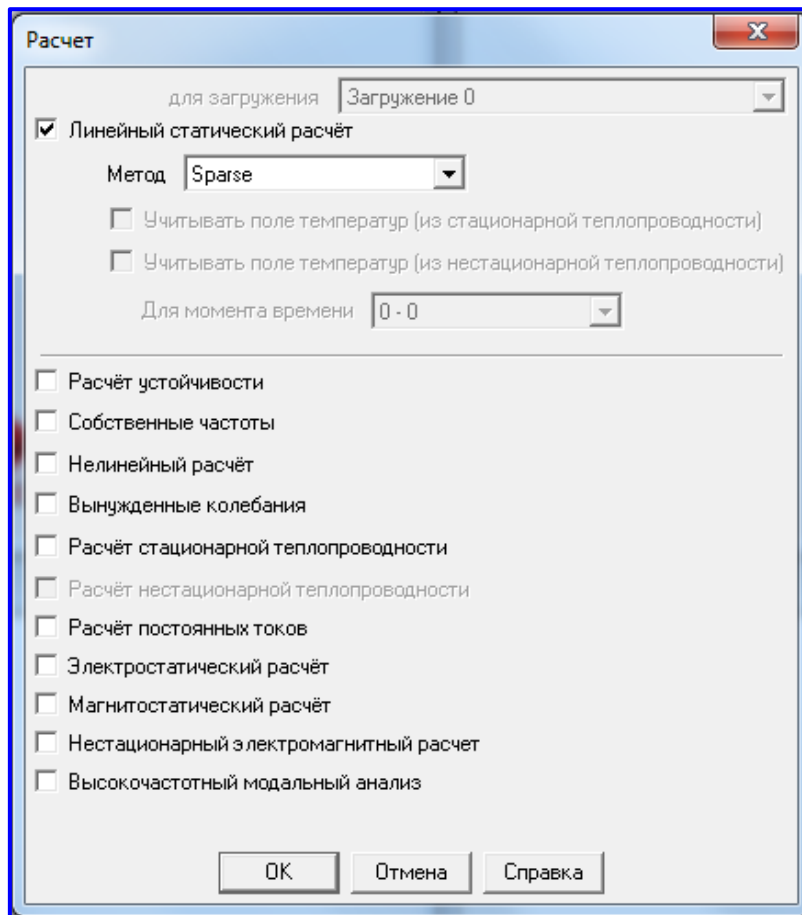


Рисунок 8.26 – Выбор параметров расчета

8.2.9 Просмотр и вывод результатов расчета на печать

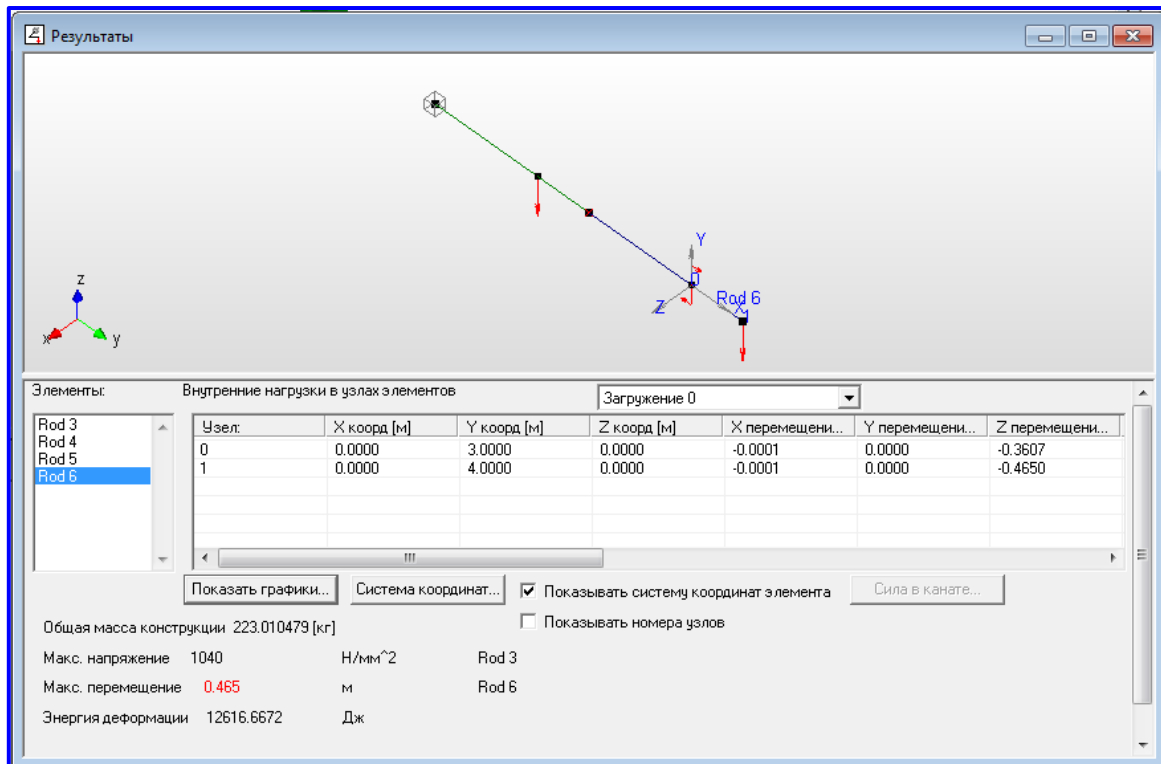


Рисунок 8.27 – Просмотр результатов расчета

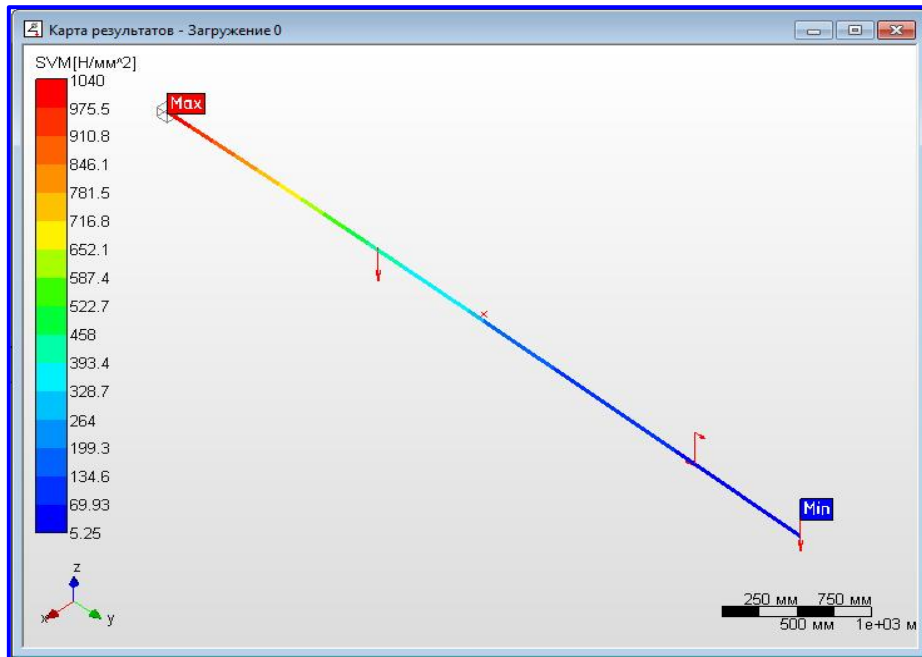


Рисунок 8.28 – Просмотр карты нагружения

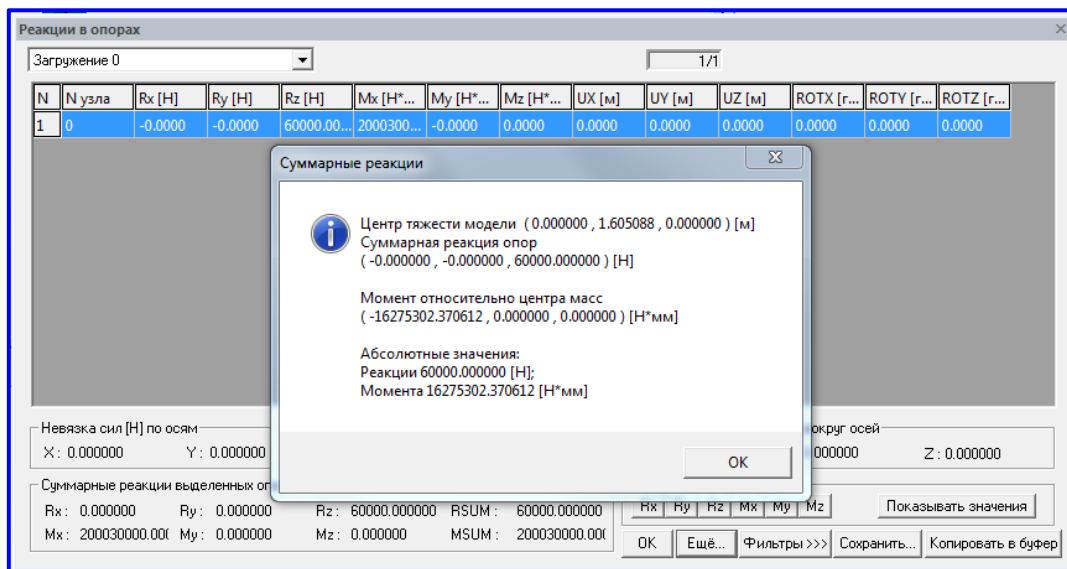


Рисунок 8.29 – Просмотр реакции в опорах

Расход материалов на рассчитанную балку.

Название	Количество	Длина [м]	Погонная масс...	Масса изделия...	Общая масса[kg]	Площадьokra...
Сталь						
Двутавр 20Б1 ГОСТ 2602...	1	2.000	22.17	44.35	44.35	1.524
Двутавр 20Б1 ГОСТ 2602...	1	1.000	22.17	22.17	22.17	0.762
Кв. труба 180x10 ГОСТ 86...	1	2.000	52.16	104.32	104.32	1.388
Кв. труба 180x10 ГОСТ 86...	1	1.000	52.16	52.16	52.16	0.694
Всего для сечения						
Двутавр 20Б1 ГОСТ 2602...	2	3.000	22.17	66.52	66.52	2.286
Кв. труба 180x10 ГОСТ 86...	2	3.000	52.16	156.49	156.49	2.083
Всего для материала					223.01	4.369

Рисунок 8.30 – Просмотр расхода материалов

Контрольная работа № 8

Расчет балочных элементов конструкции в модуле APM Structure 3D

Таблица 8.1 – Исходные данные к расчёту балочного элемента в модуле APM Beam по схемам 1.1 – 1.10

Варианты	№ схе- мы	F_1	F_2	M	Профиль участка			
					AB		BC	
		кН	кН·м	сечение	h или A	сечение	h или A	
№1	1.1	30	20	40	двутавр	180	швеллер	160/68
№2	1.2	20	30	25	швеллер	180/74	тр. прямоуг	150/100/6
№3	1.3	30	40	15	тр. прямоуг	180/80/8	швеллер	180/70
№4	1.4	40	25	20	тр. квадр.	180/8	тр. прямоуг	180/80/8
№5	1.5	30	40	25	тр. прямоуг	150/80/6	тр. квадр.	140/8
№6	1.6	25	35	20	швеллер	160/68	тр. квадр.	150/10
№7	1.7	30	20	35	двутавр	180	швеллер	180/70
№8	1.8	20	25	15	швеллер	140	тр. квадр.	140/6
№9	1.9	40	30	15	тр. прямоуг	120/80/8	тр. квадр.	80/8
№10	1.10	20	40	20	двутавр	160	тр. квадр.	160
№11	1.1	30	25	25	швеллер	120	тр. прямоуг	120/60/8
№12	1.2	40	40	20	тр. прямоуг	100/60/4	тр. квадр.	60/8
№13	1.3	30	35	35	двутавр	140	тр. квадр.	140
№14	1.4	25	20	15	швеллер	100	тр. прямоуг	100/70/4
№15	1.5	30	25	20	тр. прямоуг	100/50/6	швеллер	100
№16	1.6	20	25	35	двутавр	120	швеллер	160/68
№17	1.7	20	40	15	швеллер	140	тр. квадр.	140/8
№18	1.8	30	35	15	тр. прямоуг	80/50/4	тр. квадр.	50/8
№19	1.9	40	20	20	двутавр	100	тр. квадр.	100/9
№20	1.10	30	25	25	швеллер	80	тр. прямоуг	80/60/6
№21	1.1	25	30	20	тр. прямоуг	70/50/6	тр. квадр.	50/8
№22	1.2	30	40	35	двутавр	177	швеллер	160/64
№23	1.3	20	25	15	швеллер	140	тр. квадр.	140/6
№24	1.4	40	40	15	тр. прямоуг	140/80/8	тр. квадр.	120/8
№25	1.5	20	35	20	двутавр	157	тр. квадр.	150/8
№26	1.6	30	20	25	швеллер	160/64	тр. прямоуг	150/80/6
№27	1.7	40	25	20	тр. прямоуг	120/60/8	швеллер	80
№28	1.10	20	40	20	двутавр	160	тр. квадр.	160
№29	1.1	30	25	25	швеллер	120	тр. прямоуг	120/60/8
№30	1.2	40	40	20	тр. прямоуг	100/60/4	тр. квадр.	60/8

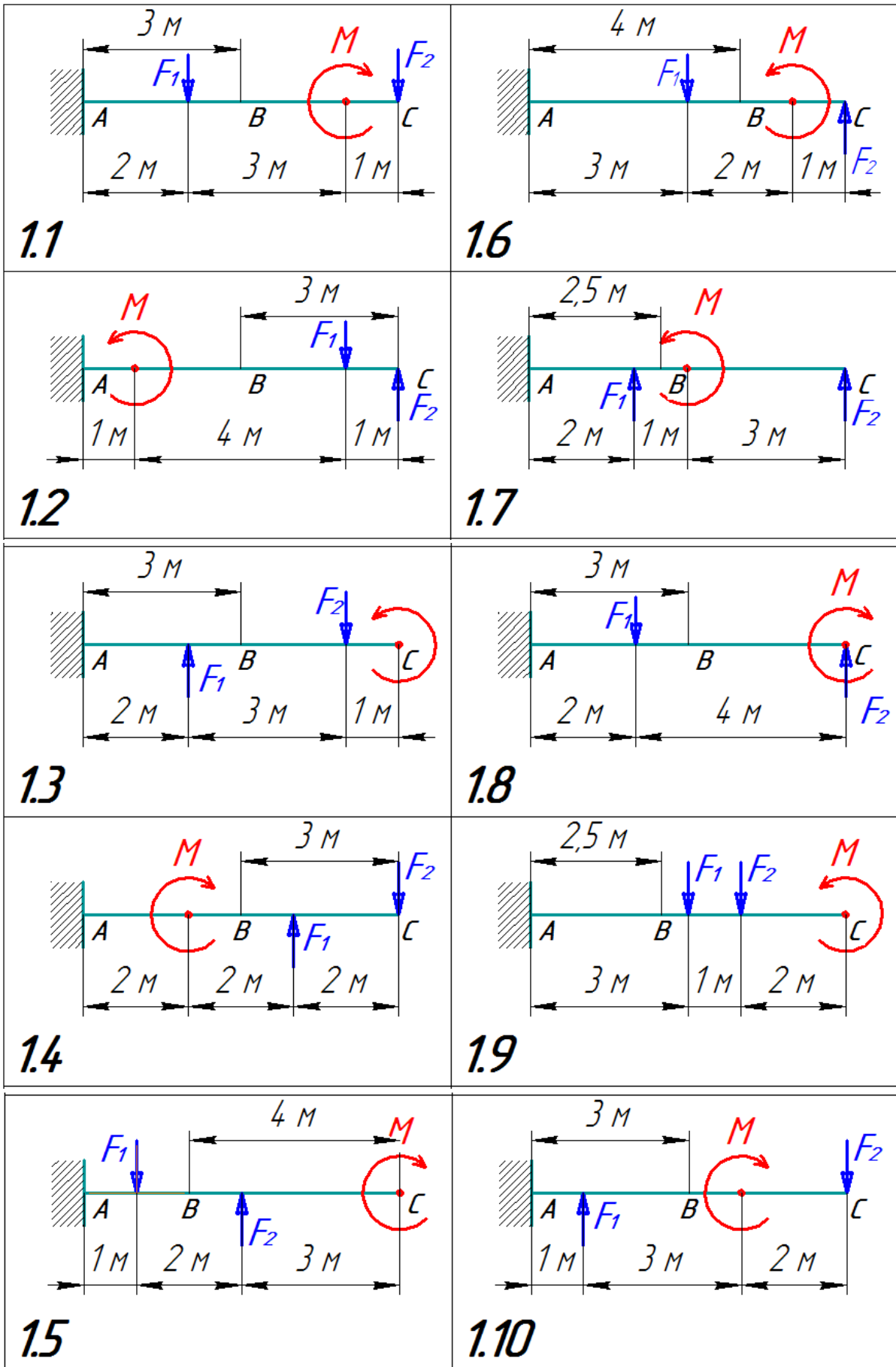


Рисунок 8.31– Схемы нагружения балок к таблице 8.1

Таблица 8.2 – Исходные данные к расчёту балочного элемента в модуле АРМ Beam по схемам 2.1 – 2.10

Варианты	№ схе- мы	Сила	Мо- мент	Профиль участка балки			
		F	M	от левого обреза до се- редины балки		от середины до пра- вого обреза балки	
		кН	кН·м	сечение	<i>h</i> или <i>A</i>	сечение	<i>h</i> или <i>A</i>
№1	2.1	25	15	швеллер	140	тр. квадр.	140/6
№2	2.2	30	20	тр. прямоуг	140/80/8	тр. квадр.	120/8
№3	2.3	20	25	двутавр	157	тр. квадр.	150/8
№4	2.4	20	20	швеллер	160/64	тр. прямоуг	150/80/6
№5	2.5	30	35	тр. прямоуг	120/60/8	швеллер	80
№6	2.6	40	15	тр. прямоуг	100/60/4	тр. квадр.	60/8
№7	2.7	30	20	двутавр	140	тр. квадр.	140
№8	2.8	25	35	швеллер	100	тр. прямоуг	100/70/4
№9	2.9	30	15	тр. прямоуг	100/50/6	швеллер	100
№10	2.10	20	15	двутавр	120	швеллер	160/68
№11	2.1	40	20	швеллер	140	тр. квадр.	140/8
№12	2.2	20	25	швеллер	160/68	тр. квадр.	150/10
№13	2.3	30	20	двутавр	180	швеллер	180/70
№14	2.4	40	35	швеллер	140	тр. квадр.	140/6
№15	2.5	40	15	тр. прямоуг	120/80/8	тр. квадр.	80/8
№16	2.6	20	15	двутавр	160	тр. квадр.	160
№17	2.7	30	20	тр. квадр.	180/8	тр. прямоуг	180/80/8
№18	2.8	40	25	тр. прямоуг	150/80/6	тр. квадр.	140/8
№19	2.9	30	20	двутавр	100	тр. квадр.	100/9
№20	2.10	25	30	швеллер	80	тр. прямоуг	80/60/6
№21	2.1	30	25	тр. прямоуг	70/50/6	тр. квадр.	50/8
№22	2.2	20	15	двутавр	200	тр. квадр.	180/10
№23	2.3	40	20	швеллер	180/74	тр. прямоуг	150/100/6
№24	2.4	20	25	тр. прямоуг	180/80/8	швеллер	180/70
№25	2.5	30	20	двутавр	177	швеллер	160/64
№26	2.6	40	35	тр. прямоуг	80/50/4	тр. квадр.	50/8
№27	2.7	30	15	швеллер	120	тр. прямоуг	120/60/8
№28	2.9	30	15	тр. прямоуг	100/50/6	швеллер	100
№29	2.10	20	15	двутавр	120	швеллер	160/68
№30	2.1	40	20	швеллер	140	тр. квадр.	140/8

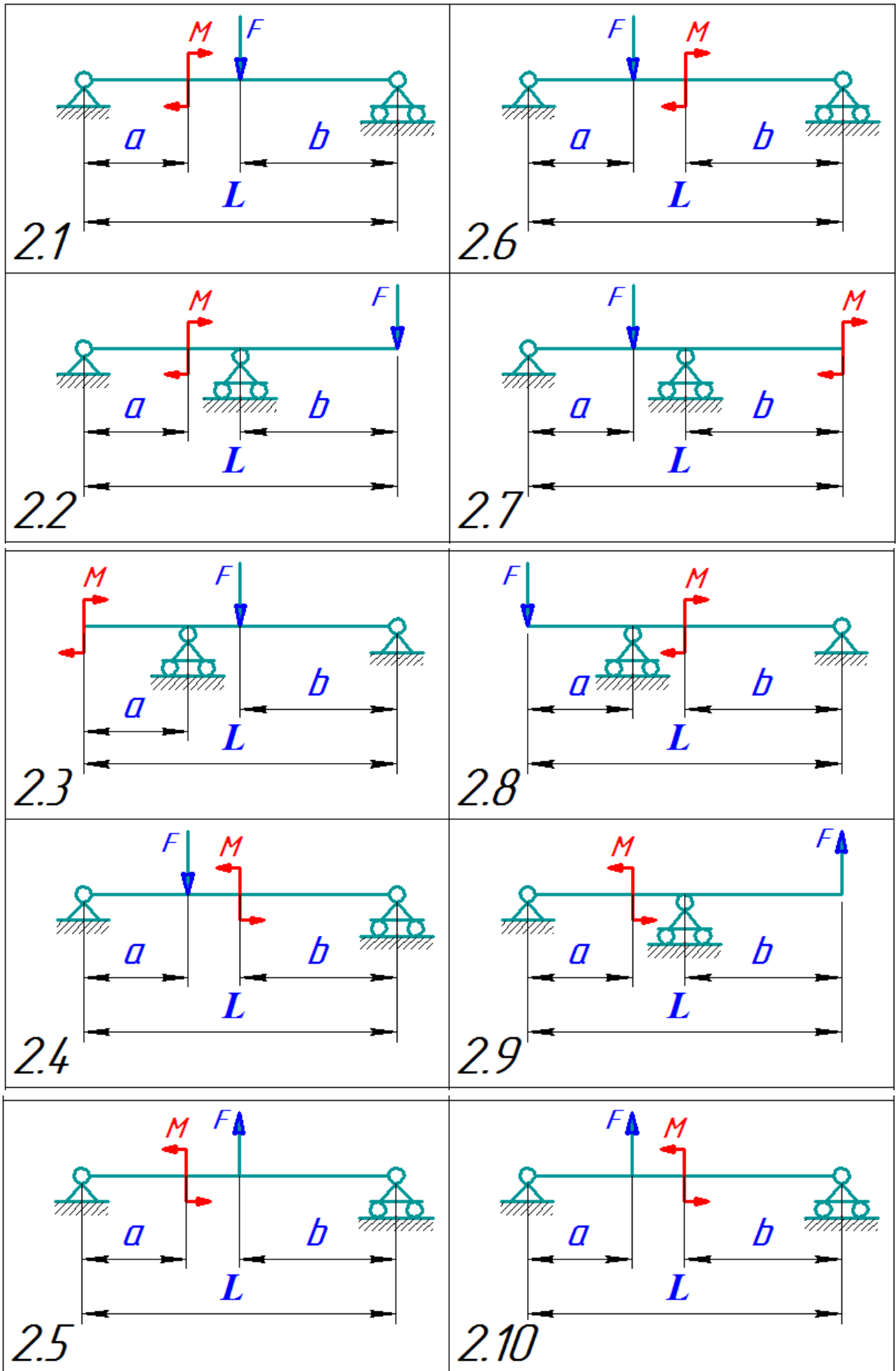


Рисунок 8.32 – Схемы нагружения балок к таблице 8.2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замрий А. А. Практический учебный курс. CAD / CAE система АРМ WinMachine : учеб.-метод. пособие / А. А. Замрий. – М. : Изд-во АПМ, 2007. – 144 с.
2. Руководство Пользователя. АРМ Graph. Чертежно-графический редактор. Научно-технический центр «Автоматизированное проектирование машин» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://apm.ru/downloads/documents/APMGraph.pdf>
3. Руководство пользователя. АРМ Studio. Пре- и постпроцессор для конечно-элементного анализа деталей и конструкций с возможностью импорта STEP и SAT файлов. Научно-технический центр «Автоматизированное проектирование машин». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://apm.ru/downloads/docv13/APM Studio13.pdf>.
4. Трубилин, Е. И. Компьютерное конструирование и оптимизация технических средств в графических модулях АРМ WinMachine [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е. И. Трубилин, А. И. Тлишев, А. С. Брусенцов. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 258 с.. – Режим доступа: <https://edu.kubsau.ru/file.php/115/PriMA-Kompjuternoe-konstruirovanie.258str.368092v1.pdf>.
5. Трубилин, Е. И. Основы компьютерного конструирования [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е.И. Трубилин, Е.В. Труфляк. — Краснодар : КубГАУ, 2014. – 283 с. – Режим доступа : <http://kubsau.ru/upload/iblock/ffa/ffa1b8254a9010e3bd5cc3872ac31250.pdf>.
6. Leon N. The future of computer-aided innovation / N. Leon/ Computers in Industry. – 2009. – V. 60, Issue 8. – P. 539–550.
7. Mahdjoub M., Monticolol D., Gomes S. [and etc] / A collaborative Design for Usability approach supported by Virtual Reality and a Multi-Agent System embedded in a PLM environment / Computer-Aided Design. – 2010. – V. 42, Issue 5. – P. 402–413.

Учебное издание

Глишев Адам Измаилович,
Огняник Александр Васильевич

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АПК**

Лабораторный практикум

В авторской редакции

Компьютерная верстка – А. И. Глишев, А. В. Огняник
Дизайн обложки – Н. П. Лиханская

Подписано в печать _____. Формат 60 × 84 ¹/₈.
Усл. печ. л. – _____. Уч.-изд. л. – _____.
Тираж 100 экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13