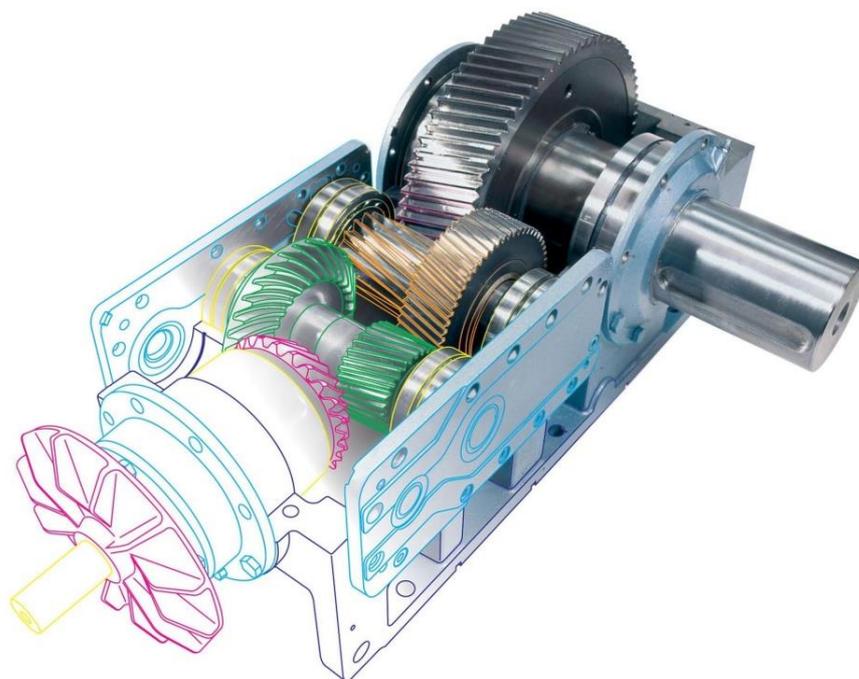


 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Ю.И. Молодова, В.А. Цветков**  
**ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ**  
**ДВУХСТУПЕНЧАТОГО**  
**ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА**  
**В МОДУЛЕ ARM DRIVE**



**Санкт-Петербург**  
**2019**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Ю.И. Молодова, В.А. Цветков**  
**ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ**  
**ДВУХСТУПЕНЧАТОГО**  
**ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА**  
**В МОДУЛЕ АРМ DRIVE**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО**

**по направлению подготовки (специальности)**

**16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения в качестве учебно-методического пособия для реализации основных профессиональных образовательных программ высшего образования бакалавриата и магистратуры**

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург**

**2019**

УДК 621.81

Ю.И. Молодова, В.А. Цветков, Проектировочный расчет двухступенчатого цилиндрического редуктора в модуле АРМ Drive. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 26 с.

Рецензент: доктор технических наук, профессор СПбГАСУ В.Н.Глухих

В учебном пособии рассматривается общий порядок расчета двухступенчатого цилиндрического редуктора в модуле АРМ Drive.

Издание переработанное и расширенное.



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019

© Ю.И. Молодова, В.А. Цветков, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
КОНСТРУКЦИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА.....	6
ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О САПР АРМ WINMACHINE.....	7
ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА В МОДУЛЕ АРМ Drive.....	8
Общий порядок расчета.....	8
Задача.....	8
Решение.....	8
1. Выбор типа расчета редуктора.....	8
2. Создание кинематической схемы редуктора.....	9
3. Ввод исходных параметров редуктора.....	12
4. Выполнение расчета базового варианта редуктора.....	14
5. Просмотр результатов расчета.....	15
6. Корректировка конструктивных параметров элементов редуктора.....	17
7. Расчет откорректированного варианта редуктора.....	17
8. Генерация чертежей отдельных элементов.....	17
9. Генерация чертежей спроектированного редуктора.....	18
10. Вывод результатов расчета на печать и в формате *.rtf.....	19
11. Практическое задание.....	19
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ.....	20
ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ.....	23
ОФОРМЛЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	25
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	26

## ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение является технической базой для всех отраслей промышленности, транспорта и сельского хозяйства.

Современный инженер-конструктор, технолог, исследователь должны в совершенстве владеть методами расчета и конструирования новых приборов, быстроходных высокопроизводительных машин, машин-автоматов, автоматических линий, удовлетворяющих высоким требованиям надежности и точности воспроизведения перемещений рабочего органа.

При создании сложных машин и особенно автоматических линий необходимо прежде всего разработать рациональный технологический процесс, в соответствии с которым конструктору и технологю надлежит проектировать отдельные исполнительные механизмы, механизмы управления, специальные устройства для контроля точности и отбраковки изделий и др. [1].

По своему функциональному назначению многообразие машин следует классифицировать на следующие группы:

1. Энергетические машины. Предназначены для преобразования любого вида энергии в механическую (машины-двигатели) и наоборот (машины-генераторы).

2. Рабочие машины. Предназначены для преобразования материалов и подразделяются на два типа: технологические – служат для преобразования формы материала или его свойств (станки для обработки металлов и неметаллов, станки для переработки сырья в пищевой, текстильной, обувной и других отраслях промышленности); транспортные – преобразуют материалы путем их перемещения в пространстве (конвейеры, транспортеры, элеваторы, подъемные краны, шнеки и др.).

3. Информационные машины. Предназначены для получения и преобразования информации, среди которых можно выделить две категории: контрольно-управляющие машины преобразуют получаемую контрольно-измерительную информацию с целью управления энергетической или рабочей машиной; математические машины преобразуют информацию в виде различных математических образов, заданных в форме чисел или алгоритмов.

4. Кибернетические машины. Данная группа машин заменяет или имитирует механические, биологические и физиологические процессы, свойственные живой природе. Также кибернетическим машинам присущи элементы искусственного интеллекта.

В общем случае машины включают в себя двигательную, передаточную и исполнительную части. Промежуточным звеном между двигательной и исполнительной частями является передача. Передачи бывают понижающими – редукторы и повышающими – мультипликаторы.

В данном учебном пособии студентам предлагается произвести проектировочный расчет двухступенчатого цилиндрического редуктора в программном модуле APM Drive программного продукта APM WinMachine. Принципиально расчет состоит из двух последовательных этапов:

1. Схемное проектирование (создание кинематической схемы редуктора);

2. Этап конструирования (создание чертежей отдельных элементов редуктора).

Курсовой проект по курсу «Детали машин» является первой самостоятельной расчетно-конструкторской работой студента, в ходе которой приобретаются и развиваются навыки выполнения расчетов и чертежей, использования справочной литературы и ГОСТов, оформления технической документации.

Успешно выполнив курсовой проект, студент приобретает начальные конструкторские навыки и известную самостоятельность в решении простейших технических задач.

Настоящие методические указания имеют одной из целей оказание помощи студентам в работе над курсовым проектом.

## КОНСТРУКЦИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА

Редукторы – механизмы, используемые для понижения угловых скоростей и увеличения крутящих моментов, выполненные в виде отдельного агрегата [2].

Редукторы можно классифицировать по ряду основных признаков:

- по числу ступеней (одно-, двух- и многоступенчатые),
- по типу колес (цилиндрические, конические, червячные),
- по расположению валов (горизонтальные, вертикальные),
- по кинематической системе (соосные, развернутые).

На рис. 1 рассмотрена конструкция двухступенчатого цилиндрического соосного редуктора с горизонтальной кинематической системой.

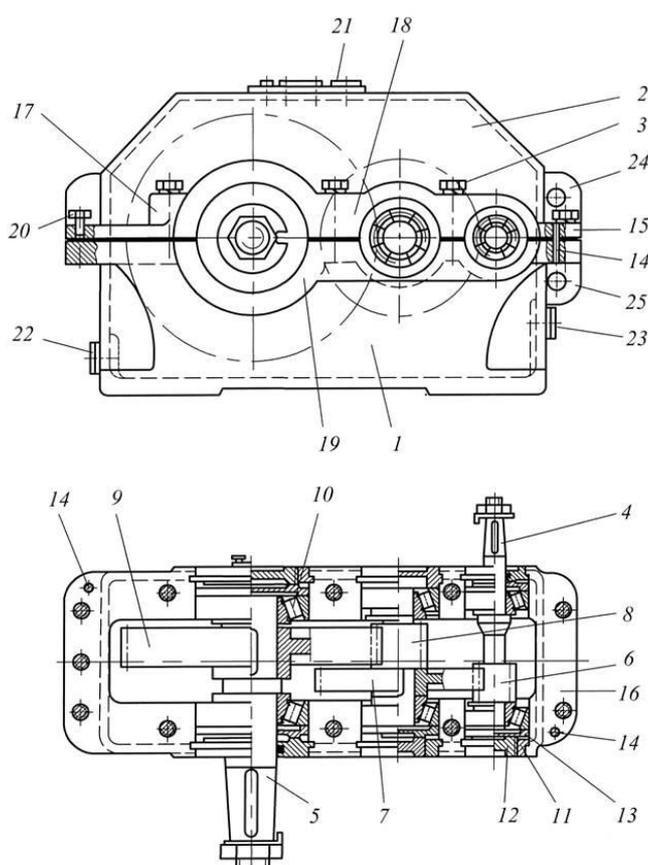


Рис. 1. Двухступенчатый цилиндрический редуктор:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – соединительный болт; 4 – быстроходный вал; 5 – тихоходный вал; 6 – шестерня быстроходной ступени; 7 – колесо быстроходной ступени; 8 – шестерня тихоходной ступени; 9 – колесо тихоходной ступени; 10 – роликподшипник; 11 – регулировочная крышка; 12 – регулировочный винт; 13 – нажимная шайба; 14 – координирующие штифты; 15, 16 – фланцы; 17 – бобышка; 18, 19 – приливы; 20 – отжимной болт; 21 – пробка, закрывающая отверстие для залива масла; 22 – пробка, закрывающая отверстие для слива масла; 23 – контрольная пробка; 24 – проушина, предназначенная для подъема собранного редуктора; 25 – проушина, предназначенная для подъема корпуса редуктора.

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О САПР АРМ WINMACHINE

АРМ WinMachine – это наукоемкий программный продукт, созданный на базе современных инженерных методик проектирования, численных методов механики, математики и моделирования, гармонично сочетающий опыт поколений конструкторов, инженеров-механиков и других специалистов с возможностями компьютерной техники и технологий [3].

Многоцелевой пакет АРМ WinMachine является отечественной разработкой и представляет собой модульную систему, объединяющую 22 модуля. Совокупность инструментария можно условно разделить по назначению:

1. Графические средства;
2. Конечно-элементный анализ;
3. Инженерный анализ;
4. Технологическая подготовка производства;
5. Базы данных.

Модули могут работать как самостоятельно, так и в составе системы.

Проектировочный расчет двухступенчатого цилиндрического редуктора, рассматриваемый в настоящем учебном пособии, производится в АРМ Drive – модуле автоматизированного проектирования привода вращательного движения произвольной структуры. В данном случае модуль АРМ Drive предполагает совместную работу со следующими модулями:

- АРМ Trans – расчет зубчатых передач;
- АРМ Shaft – расчет валов и осей;
- АРМ Bear – расчет подшипников качения.

Перечисленные модули являются инструментами инженерного анализа программного пакета АРМ WinMachine.

Также в пособии освещается назначение модуля АРМ Graph, который представляет собой графическое средство создания и редактирования чертежей.

# ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА В МОДУЛЕ APM Drive

## Общий порядок расчета

1. Выбор типа расчета редуктора.
2. Создание кинематической схемы редуктора.
3. Ввод исходных параметров редуктора.
4. Выполнение расчета базового варианта редуктора.
5. Просмотр результатов расчета.
6. Корректировка конструктивных параметров элементов редуктора.
7. Расчет откорректированного варианта редуктора.
8. Генерация чертежей отдельных элементов.
9. Генерация чертежей спроектированного редуктора.
10. Вывод результатов расчета на печать и в файл формата \*.rtf [4].

## Задача

Выполнить проектировочный расчет двухступенчатого цилиндрического редуктора со следующими параметрами:

- момент на выходе –  $2000 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;
- частота вращения выходного вала –  $20 \text{ об/мин}$ ;
- передаточное число –  $15$ ;
- ресурс работы –  $10000 \text{ ч}$ ;
- типы зубчатых передач – *косозубые внешнего зацепления*;
- термообработка зубчатых колес – *закалка ТВЧ до твердости 50 HRC*;
- расположение шестерни относительно опор вала – *несимметричное*;
- материал валов – *Сталь 40*;
- тип подшипников – *роликовые радиально-упорные*;
- схема установки подшипников – *схема «О»*;
- режим работы – *постоянный* [4].

## Решение

### 1. Выбор типа расчета редуктора

Перед началом расчета необходимо выбрать тип расчета – проектировочный или проверочный. При открытии нового документа по умолчанию предлагается проведение проектировочного расчета. Для того чтобы проверить это, открываем меню Тип расчета и убеждаемся в наличии флажка напротив опции Проектировочный (если это не так, то устанавливаем флажок напротив этого вида расчета) [4].

## 2. Создание кинематической схемы редуктора

Для расчета передаточного механизма произвольной структуры достаточно создать его кинематическую схему и ввести начальные данные. Кинематическая схема редуктора состоит из передающих элементов (зубчатых передач), валов и подшипников. Программный модуль APM Drive предназначен для расчета элементов кинематических схем, формируемых из графических примитивов. В случае проектирования редукторов модуль APM Drive работает совместно в системе с APM Trans, APM Shaft и APM Bear, используя все их возможности по заданию параметров и выводу результатов расчета соответствующих элементов схемы. Выбор элементов кинематической схемы производится при помощи панели инструментов, расположенной в левой части рабочего пространства. Подробнее рассмотрим их далее.

### Создание валов

Задание кинематической схемы начинаем с создания валов. В её состав могут входить как горизонтальные, так и вертикальные валы (рис. 2). Пусть для примера это будут вертикальные валы. Нажимаем кнопку «Вертикальный вал» на инструментальной панели «Валы» (меню Вставка/Вал/Вертикальный), а затем, нажав левую кнопку мыши, изображаем вал «вытягиванием» линии в вертикальном направлении. Вытягивать линию можно или сверху вниз, или снизу вверх. Таким способом создаем три вертикальных вала: входной, промежуточный и выходной.

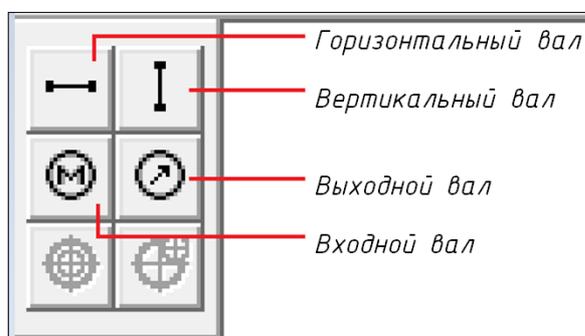


Рис. 2. Панель инструментов «Валы»

### Моделирование зубчатых передач

После построения валов размещаем на них зубчатые передачи. Передачи можно выбрать из встроенной в модуль библиотеки стандартных элементов.

В рассматриваемой задаче необходимо использовать косозубые передачи внешнего зацепления, следовательно, на инструментальной панели «Передачи») (рис. 3) кнопку «Косозубая внешнего зацепления» (меню Вставка/Передача/Косозубая внешнего зацепления). Затем, нажав левую кнопку мыши, «вытягиваем» штриховую линию до другого вала до тех пор, пока не появится динамический объект в виде прямоугольника. Далее щелкаем левой кнопкой мыши, и вместо прямоугольника появляется схематическое

изображение зубчатой передачи. Аналогично создаем вторую зубчатую передачу.

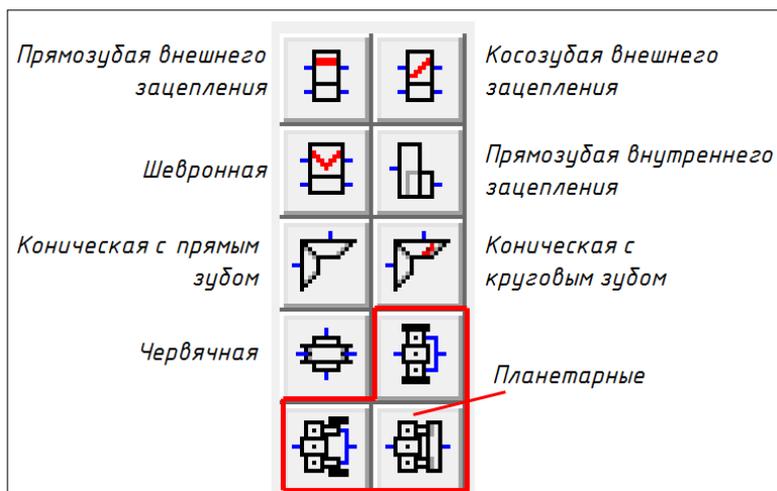


Рис.3 Панель инструментов «Передачи»

### Размещение подшипников

В качестве опор на валы могут быть установлены шариковые и роликовые подшипники всех известных типов. На каждом из валов кинематической схемы необходимо расположить как минимум два подшипника. Для задания роликового радиально-упорного подшипника нажимаем на инструментальной панели «Подшипники» (рис. 4) кнопку «Радиально-упорный роликовый (левый)» (меню Вставка/Подшипник/Радиально-упорный роликовый (левый)) и перемещаем курсор в то место, где на валу будет установлен подшипник – до появления динамического объекта в виде небольшого прямоугольника. Для фиксации места установки подшипника щелкаем левой кнопкой мыши. На одной стороне вала следует установить левые подшипники, а на другой стороне – правые, в зависимости от схемы установки «Схема "O" (врастяжку) или «Схема "X"» (враспор). В рассматриваемом случае левый подшипник должен находиться в верхней части валов.

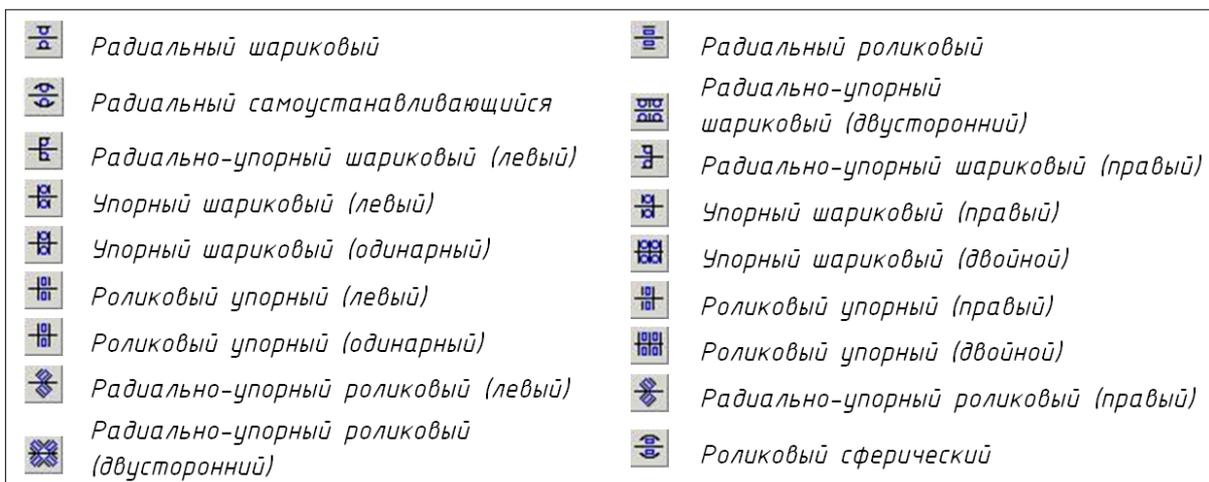


Рис.4 Панель инструментов «Подшипники»

## Указание входа и выхода схемы

Окончательным этапом создания кинематической схемы является условное указание входного и выходного валов, их обозначение на панели инструментов представлено на Рис.2. На входе кинематической схемы (на одном из концов входного вала) устанавливаем значок с условным обозначением двигателя (мотора). Для этого на инструментальной панели «Валы» нажимаем кнопку «Входной вал» (меню Вставка/Вал/Входной вал), затем подводим курсор к одному из концов входного вала и после появления на конце вала динамического объекта в виде небольшого квадратика щелкаем левой кнопкой мыши для его установки. Аналогичным способом устанавливаем значок с условным обозначением нагрузки на выходном валу редуктора. Для этого на инструментальной панели «Валы» нажимаем кнопку «Выходной вал» (меню Вставка/Вал/Выходной вал). На этом задание кинематической схемы редуктора завершено (рис. 5).

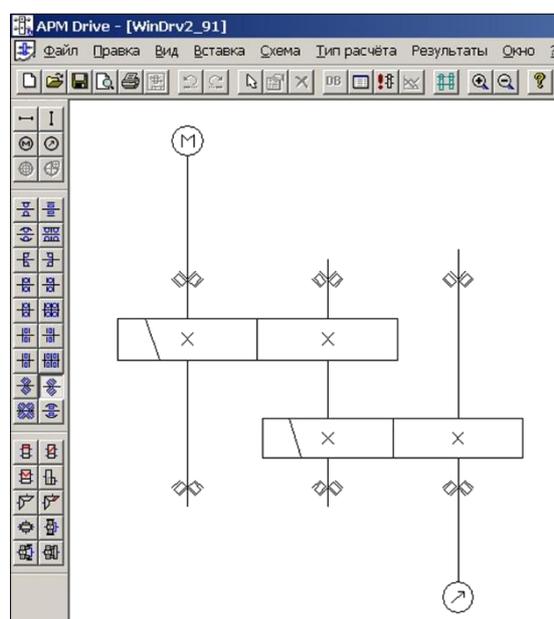


Рис. 5. Кинематическая схема редуктора в APM Drive

## Редактирование элементов кинематической схемы

Если возникает необходимость в изменении местоположения отдельных элементов кинематической схемы, а также их удалении или замене одних типов элементов другими, то предварительно такие элементы следует выделить. Для выделения нажимаем на инструментальной панели «Основная» кнопку «Выделить» (меню Правка/Выделить), а затем щелкаем на выделяемом элементе левой кнопкой мыши – этот элемент выделится.

С выделенными элементами возможно проведение следующих действий:

**Удаление.** Для удаления выделенных элементов нужно нажать на панели инструментов «Основная» кнопку «Удалить» (меню Правка/Удалить).

*Изменение положения выделенного элемента.* Подводим курсор к выделенному элементу и, как только курсор приобретает вид , нажимаем левую кнопку мыши и, не отпуская ее, перемещаем этот элемент схемы. Данная операция применима к передачам и подшипникам – она позволяет сместить их вдоль вала, а также к отдельному валу – его можно переместить в любом направлении.

Примечание. После выполнения этой операции все установленные на валу подшипники сместятся вместе с валом. Передачи останутся на месте, но при перемещении валов в поперечном направлении (т. е. в поле чертежа – справа налево) изменится масштаб изображения передач.

*Изменение размеров валов.* При выделении вала его левый конец отмечается белым квадратиком, а правый – черным. Пользователь имеет возможность изменить положение правого конца вала в направлении его оси. Для изменения размера вала подводим курсор к черному концу выделенного вала и, когда курсор приобретает вид двунаправленной стрелки, нажимаем левую кнопку мыши и, не отпуская ее, перемещаем конец вала [4].

### 3. Ввод исходных параметров редуктора

После создания кинематической схемы необходимо задать начальные данные. Нажимаем на панели инструментов «Основная» кнопку «Начальные данные»  (меню Схема/Начальные данные) и в соответствующие поля ввода появившегося диалогового окна «Начальные данные» записываем исходные данные проектируемого редуктора:

*«Момент на выходе,  $H \times m$ » – 2000;*

*«Частота вращения на выходе, об/мин» – 20;*

*«Передаточное число» – 15;*

*«Долговечность, час» – 1000.*

Вообще говоря, этих данных достаточно для проведения проектировочного расчета редуктора. Разбиение параметров передач по ступеням (передаточное отношение, момент и число оборотов на выходе) производится системой автоматически. В случае необходимости можно изменить параметры разбиения по ступеням вручную. У пользователя есть возможность просмотреть результаты разбивки и, при желании, скорректировать ее. Для перехода в режим корректировки разбивки по ступеням нужно нажать кнопку «Ручная разбивка»  (меню Схема/Ручная разбивка), после чего откроется диалоговое окно «Исходные данные» (рис. 6).

В верхней части этого окна показываются те параметры элементов схемы, которые предлагаются программой. Пользователь может изменить любой из них. Для этого необходимо, во-первых, в группе параметров Условия разбивки отметить строку Ручная, а во-вторых, из выпадающего списка Параметр ручной разбивки выбрать тот параметр, который нужно изменить [4].

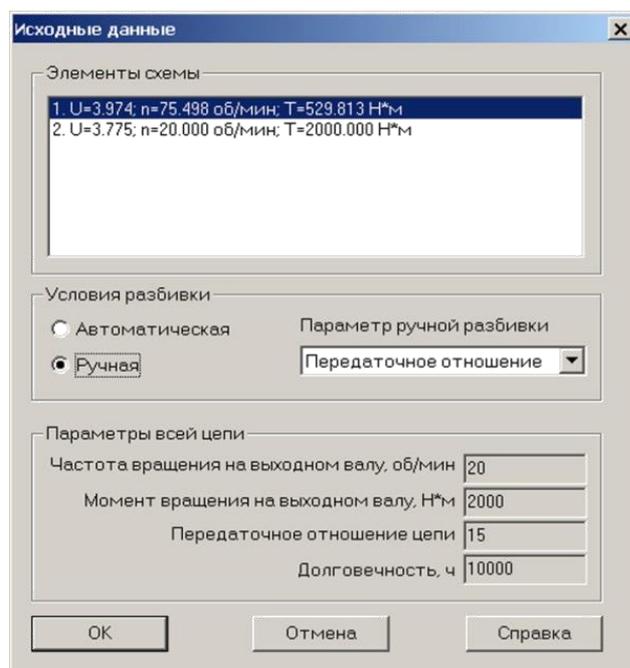


Рис. 6. Диалоговое окно «Исходные данные»

Затем следует указать ту ступень редуктора, для которой будет задан выбранный параметр. Это делается двойным щелчком левой кнопкой мыши на соответствующей строке в списке *Элементы схемы*. В активном поле ввода открывшегося диалогового окна «*Параметры ступени № 1*» (рис. 7) можно задать необходимое значение выбранного параметра (заметим, что из всех полей ввода этого окна активным будет только то, которое соответствует выбранному ранее параметру) [4].

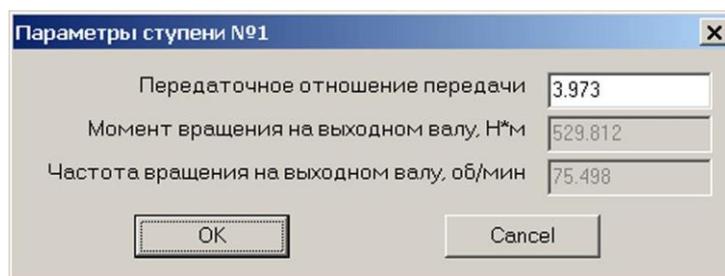


Рис. 7. Диалоговое окно «Параметры ступени № 1»

После изменения какого-либо параметра все кинематические параметры схемы редуктора будут немедленно пересчитаны в автоматическом режиме.

Следует отметить, что на начальном этапе, помимо основных параметров, могут быть заданы:

1. Режим работы. Задается выбором в меню: *Схема/Задать режим работы*. При этом переменная нагрузка представляется в виде графика (рис. 8),

который количественно определяет время действия относительного момента, т.е. отношение текущего момента к наибольшему.

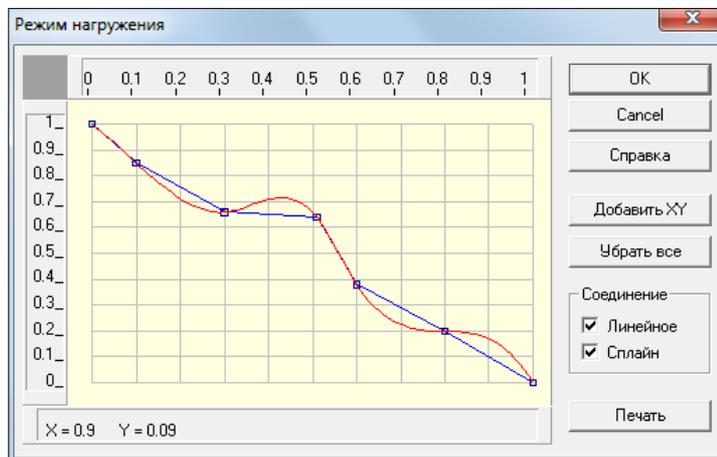


Рис.8. График режима нагружения

2. Материал валов. Задается выбором в меню: Схема/Задать материал валов (рис.9). Характеристики материала вводятся вручную, либо выбирается материал из встроенной базы данных по материалам (БД).

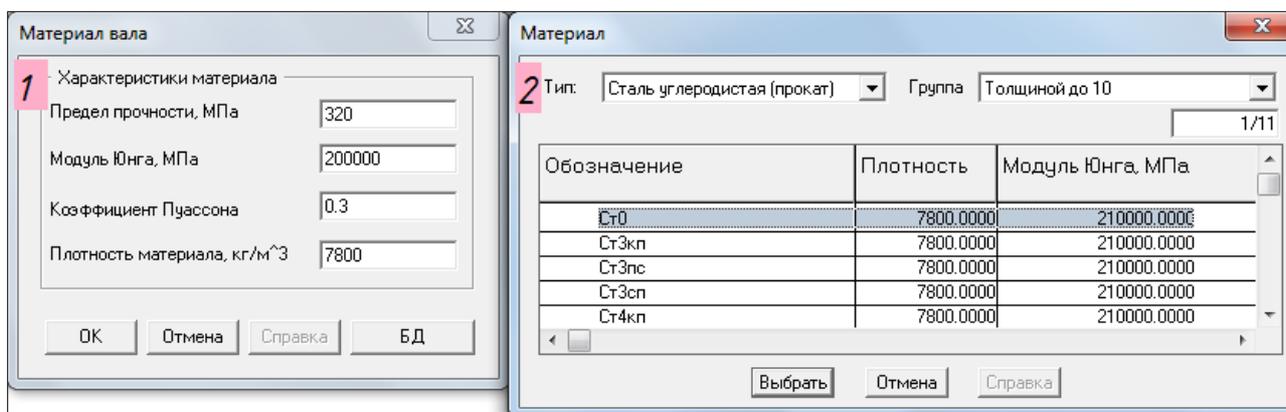


Рис. 9. Выбор материала валов:  
1 – вручную; 2 – из базы данных.

#### 4. Выполнение расчета базового варианта редуктора

Выполнив пункты 1, 2 и 3, приступаем к расчету созданной схемы. Расчет производится после нажатия на панели инструментов «Основная» кнопки «Расчет» (меню Схема/Расчет).

Передачи рассчитываются по критериям усталостной контактной прочности и усталостной прочности на изгиб. Процесс расчета происходит следующим образом: вначале рассчитываются передачи выбранного пользователем типа, затем на основе полученных результатов

конфигурируются состоящие из цилиндрических секций валы, коэффициент запаса по усталостной прочности каждого из которых не ниже 1,5. Наконец, по рассчитанным диаметрам участков вала, на которых по условию должны стоять подшипники, из базы данных автоматически подбираются подшипники указанного типа различных серий, причем с проверкой их по долговечности. В том случае, если по диаметру сконфигурированного вала не удалось найти подшипник из базы данных или найденный подшипник не обеспечивает заданную долговечность, пользователю выдается соответствующее сообщение с перечнем тех подшипников, с которыми возникли подобные проблемы.

Если после проведения расчета программа выдает сообщение *«Не все подшипники выбраны из базы данных или имеют требуемую долговечность...»*, то это означает одно из двух:

1. под предложенный диаметр вала в базе данных не нашлось подходящего подшипника с таким же внутренним диаметром;
2. подшипник найден, но полученная в результате его расчета долговечность ниже той, которая задана в исходных данных для всего редуктора.

В обоих случаях необходимо изменить в сторону увеличения диаметр секции вала на том участке, где будет установлен подшипник. Под больший диаметр вала программа подберет подшипник с большей грузоподъемностью, который в результате будет иметь большую долговечность. После внесения всех изменений следует обязательно произвести повторный расчет редуктора.

Кнопка *«Результаты»* (меню *Схема/Результаты расчета*) на панели инструментов *«Основная»* становится активной после окончания расчета только при выборе пользователем определенного элемента схемы [4].

## 5. Просмотр результатов расчета

Выделяем тот элемент схемы, результаты расчета которого необходимо просмотреть. Для просмотра результатов удобнее использовать контекстное меню (рис. 4), вызываемое щелчком правой кнопкой мыши на каком-либо элементе. Элемент при этом выделять не обязательно [4].

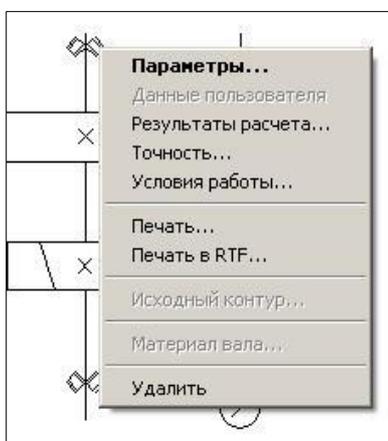


Рис. 10. Контекстное меню

Результатом расчета зубчатой передачи является полный перечень параметров, необходимых при проектировании элементов цилиндрической пары: геометрические параметры элементов передачи; величины действующих и допускаемых напряжений; силы, действующие в зацеплении; параметры контроля элементов передачи (параметры торцевого контура, параметры хорды, параметры общей нормали, толщина зуба по хорде, контроль по роликам, расположение зубьев).

В зависимости от элемента схемы из контекстного меню могут быть выбраны следующие пункты:

1. *Параметры...* – при этом открывается окно задания исходных данных:

- в модуле APM Trans – диалоговое окно *«Основные параметры»*;
- в модуле APM Shaft – окно редактора с геометрией вала;
- в модуле APM Bear – окно задания геометрии подшипника.

2. *Данные пользователя* – этот пункт становится активным (и отмечается по умолчанию флажком) в том случае, если были изменены какие-либо данные, устанавливаемые по умолчанию.

3. *Результаты расчета...* – при этом открывается окно результатов расчета выбранного элемента схемы.

4. *Точность...* — данный пункт меню будет активным, если вызов контекстного меню происходит при позиционировании курсора на подшипнике; при этом открывается диалоговое окно *«Точность изготовления»*, с помощью которого можно задать/изменить параметры точности подшипника.

5. *Условия работы...* – этот пункт меню также относится только к подшипникам. Его выбор вызывает открытие диалогового окна *«Условия работы»*, позволяющего задать/изменить параметры нагрузки подшипника.

6. *Печать...* – открывает стандартное окно задания параметров печати в модуле APM Shaft или окно выбора данных для печати в модулях APM Trans и APM Bear.

7. *Печать в RTF...* – открывает стандартное окно сохранения файла в формате \*.rtf в модуле APM Shaft или окно выбора данных для печати и сохранения в файле формата \*.rtf в модулях APM Trans и APM Bear.

8. *Исходный контур...* – данный пункт меню будет активным, если вызов контекстного меню происходит при позиционировании курсора на зубчатой передаче; при этом открывается диалоговое окно *«Исходный контур»*, с помощью которого можно задать/изменить стандарт, по которому будут производиться расчеты геометрии зубчатых колес.

9. *Материал вала...* – этот пункт меню становится активным, если вызов контекстного меню происходит при позиционировании курсора на валу и вызывает открытие диалогового окна *«Материал вала»*, позволяющего задать/изменить параметры материала вала или выбрать материал из базы данных.

10. *Удалить* – позволяет удалить из схемы выбранный элемент редуктора [4].

## 6. Корректировка конструктивных параметров элементов редуктора

После проведения расчета базового варианта редуктора следует внести в конструкцию элементов некоторые коррективы. Так, обязательно нужно добавить концентраторы в виде галтелей или канавок для выхода шлифовального круга в местах перехода от одного диаметра сегмента вала к другому, иначе эти концентраторы не будут учитываться при расчете.

Для перехода в режим редактирования вала (напомним, что вначале нужно выделить тот вал, который необходимо отредактировать) следует либо нажать кнопку «*Параметры выделенного элемента*» на панели инструментов «*Основная*» (меню *Вид/Параметры*), либо выбрать строку *Параметры...* контекстного меню. В результате откроется основное окно модуля APM Shaft, с помощью которого в конструкцию вала можно внести необходимые изменения и дополнения.

Примечания: 1. Для того чтобы внесенные изменения сохранились, нужно выйти из основного окна (меню *Файл/Выход*), а затем обязательно подтвердить выход еще раз, а именно – в открывшемся диалоговом окне. Если из основного окна модуля APM Shaft выйти с помощью крестика в правом верхнем углу окна, то внесенные изменения не сохранятся.

2. Если пользователя не устраивают предлагаемые геометрия зубчатых колес, конфигурация вала и/или автоматически подобранной программой тип подшипника, то он может ввести необходимые ограничения на расчет зубчатых колес, изменить геометрию вала или выбрать нужный тип подшипника [4].

## 7. Расчет откорректированного варианта редуктора

После корректировки конструктивных параметров элементов редуктора расчет необходимо повторить.

Примечание. Если расчет производится с ограничениями на расчет передач, то в результате выполнения расчета вал будет сконфигурирован заново под него будут подобраны новые подшипники [4].

## 8. Генерация чертежей отдельных элементов

Пользователь имеет возможность получить чертежи отдельных элементов редуктора – зубчатых колес и валов. С помощью APM Drive можно подготовить для дальнейшей автоматической генерации рабочего чертежа элемента рассчитываемой передачи. Интерактивное рабочее окно, предшествующее процедуре генерации (рис. 11), позволяет уточнить конструктивные особенности изображаемой детали, проставить предельные отклонения размеров, указать технические требования чертежа и заполнить его основную надпись. В поле рабочего окна выбирается меню *Данные*, затем необходимый параметр корректировки: *Штамп...*, *Исполнение...*, *Таблица зацепления...*, *Технические требования...*

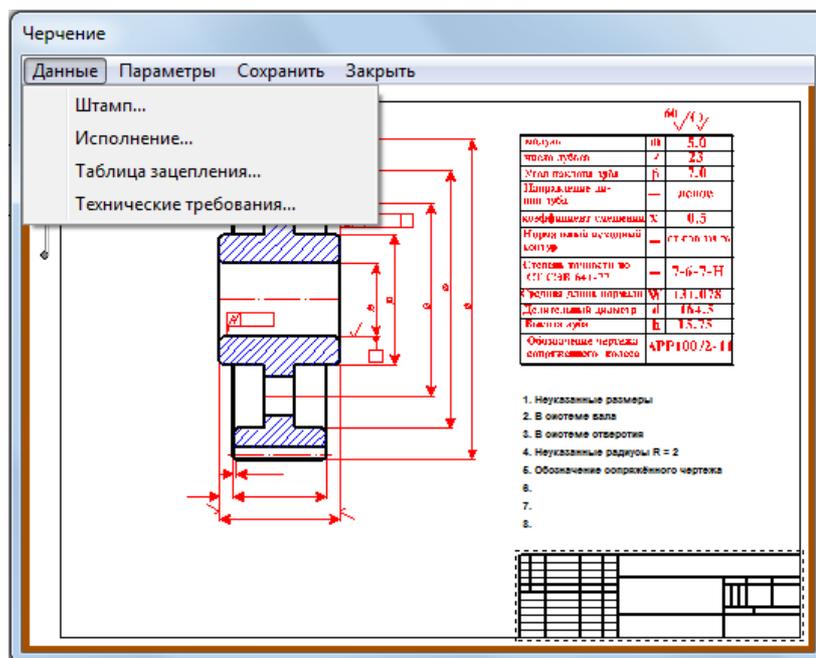


Рис.11. Рабочее окно корректировки выводимых на генерацию чертежа данных

### Генерация чертежа зубчатого колеса

Выбираем соответствующую передачу и либо нажимаем на панели инструментов «Основная» кнопку «Результаты» (меню Схема/Результаты расчета), либо выбираем в контекстном меню передачи строку Результаты расчета.... В открывшемся диалоговом окне модуля АРМ Trans нужно выбрать пункт Чертеж (поставить возле него флажок) и нажать кнопку «Продолжить». Далее поступаем в соответствии с процессом генерации чертежа зубчатого колеса в АРМ Trans [4].

### Генерация чертежа вала

Выбираем соответствующий вал и либо нажимаем на панели инструментов «Основная» кнопку «Параметры выделенного элемента» (меню Вид/Параметры), либо выбираем в контекстном меню передачи строку Параметры.... В открывшемся основном окне модуля АРМ Shaft в меню Файл выбираем строку Экспорт.... Далее поступаем обычным путем в соответствии с процессом генерации вала в АРМ Shaft.

Чертеж подшипника может быть взят из базы данных и встроен в графический редактор АРМ Graph [4].

## 9. Генерация чертежей спроектированного редуктора

Работа в модуле APM Drive завершается генерацией сборочного чертежа редуктора в формате модуля APM Graph. Для генерации чертежа спроектированного редуктора вала нужно на панели инструментов «Основная» основного окна модуля APM Drive нажать кнопку «Экспорт» (меню Файл/Экспорт), а затем сохранить чертеж как файл с расширением \*.agr. После этого произойдет запуск плоского чертежного редактора APM Graph, в окне которого будет показана заготовка сборочного чертежа рассчитанного редуктора (вместе с корпусом), а также различные виды корпуса (рис. 12).

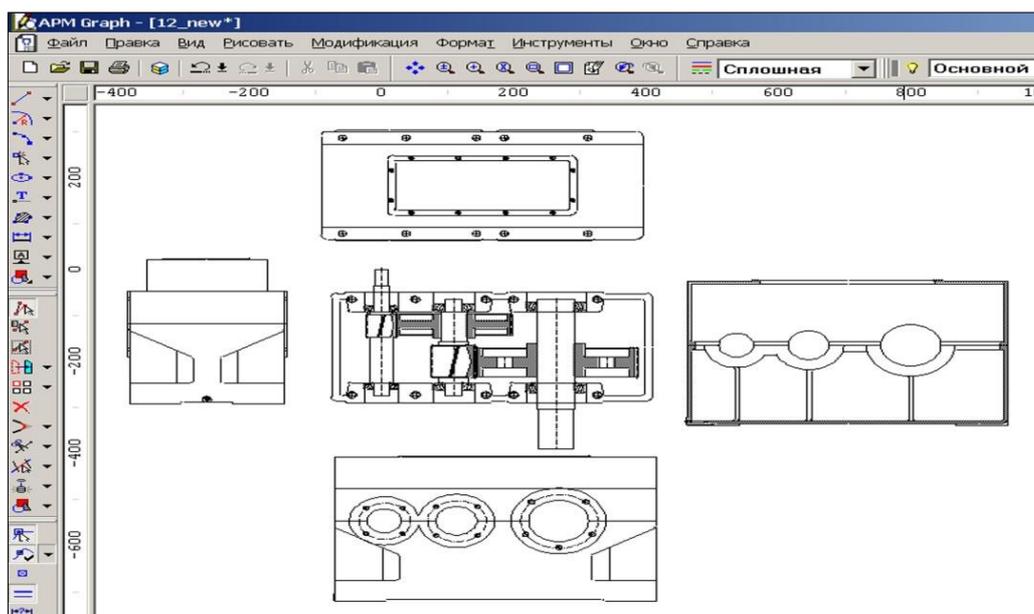


Рис. 12. Заготовка сборочного чертежа

## 10. Вывод результатов расчета на печать и в формате \*.rtf

Для вывода результатов расчета на печать следует нажать в основном окне программы на панели инструментов «Основная» кнопку «Печать» (меню Файл/Печать) и в открывшемся стандартном диалоговом окне «Печать» выбрать принтер и другие параметры печати. Настройка параметров печати производится с помощью меню Файл/Параметры печати.

Исходные данные и результаты расчета можно вывести 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..., ввести имя файла, указать его тип — \*.rtf и сохранить файл в этом формате [4].

### Практическое задание

Произвести проектировочный расчет редуктора в соответствии вариантами №№ 1 – 3 (табл. 1 – табл. 3) и схемами (рис.13 – рис.15). Просмотреть результаты расчета отдельных элементов редуктора, а также сгенерировать чертежи элементов передач и валов [4].

## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

### Вариант №1

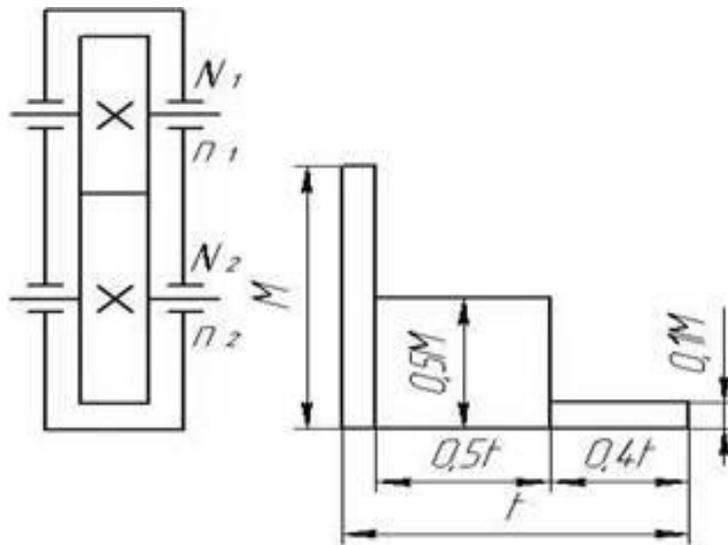


Рис. 13. Схема редуктора и график нагрузки

Таблица 1. Исходные данные вариант №1

№ вар., п/п	$N_2$ , Н×м	$n_1$ , об/мин	$n_2$ , об/мин	L, год	n, сут.	K, год	№ вар., п/п	$N_2$ , Н×м	$n_1$ , об/мин	$n_2$ , об/мин	L, год	n, сут.	K, год
1	10	750	125	7	0,3	0,7	16	25	1500	300	5	0,8	0,3
2	11	750	150	6	0,4	0,6	17	24	1500	325	4	0,7	0,4
3	12	750	175	5	0,5	0,5	18	23	1500	350	3	0,6	0,5
4	13	750	200	4	0,6	0,4	19	22	1500	375	4	0,5	0,6
5	14	750	225	5	0,7	0,3	20	21	1500	400	5	0,4	0,7
6	15	750	250	6	0,8	0,4	21	20	1500	425	6	0,3	0,8
7	16	750	275	7	0,7	0,5	22	19	1500	450	7	0,4	0,7
8	17	1000	175	3	0,6	0,8	23	18	3000	500	8	0,5	0,6
9	18	1000	200	4	0,5	0,6	24	17	3000	525	7	0,6	0,5
10	19	1000	225	5	0,4	0,7	25	16	3000	550	6	0,7	0,4
11	20	1000	250	6	0,5	0,8	26	15	3000	575	5	0,8	0,3
12	21	1000	275	7	0,6	0,7	27	14	3000	600	4	0,9	0,4
13	22	1000	300	8	0,7	0,6	28	13	3000	625	8	0,8	0,5
14	23	1000	325	7	0,8	0,5	29	12	3000	650	7	0,7	0,6
15	24	1000	350	6	0,9	0,4	30	11	3000	675	6	0,6	0,3

## Вариант №2

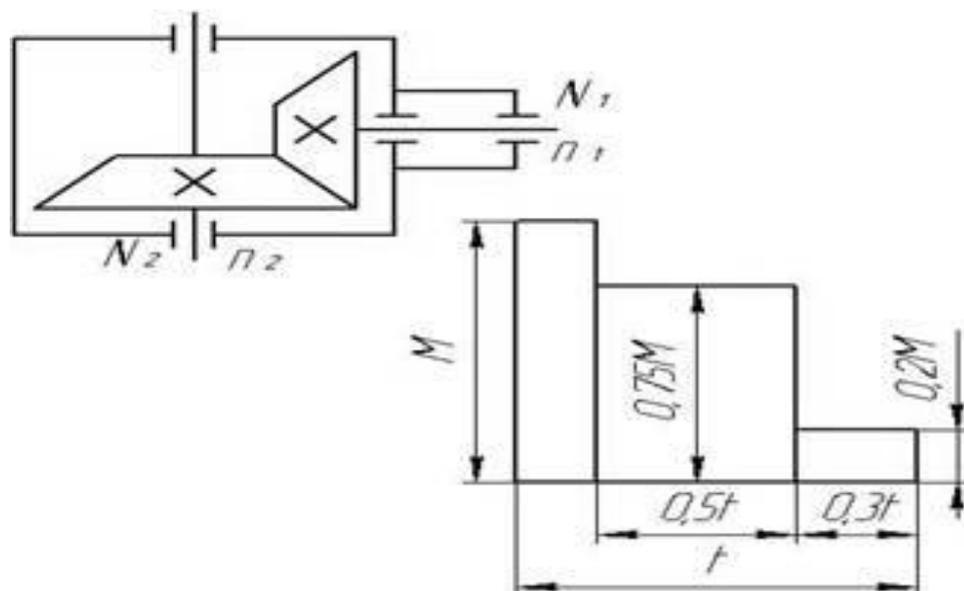


Рис. 14 Схема редуктора и график нагрузки

Таблица 2. Исходные данные вариант №2

№ вар., п/п	$N_2$ , Н×м	$n_1$ , об/мин	$n_2$ , об/мин	L, год	$n$ , сут.	K, год	№ вар., п/п	$N_2$ , Н×м	$n_1$ , об/мин	$n_2$ , об/мин	L, год	$n$ , сут.	K, год
1	10	50	1500	450	5	0,5	16	18	1500	300	7	0,8	0,5
2	11	70	1500	400	6	0,6	17	16	1500	425	8	0,7	0,4
3	12	65	1500	250	7	0,7	18	14	1500	475	9	0,6	0,3
4	13	60	1500	350	8	0,8	19	12	1500	525	10	0,5	0,6
5	14	55	1500	700	9	0,5	20	11	1000	200	9	0,4	0,7
6	15	50	3000	1500	10	0,6	21	10	1000	225	8	0,3	0,8
7	16	45	3000	750	9	0,7	22	9	1000	250	7	0,4	0,8
8	17	40	3000	375	8	0,8	23	8	1000	275	6	0,5	0,7
9	18	35	3000	500	7	0,9	24	7	1000	300	5	0,6	0,7
10	19	30	3000	1000	6	0,8	25	6	1000	325	6	0,7	0,8
11	20	28	3000	600	5	0,6	26	5	750	150	7	0,8	0,6
12	21	26	3000	700	4	0,5	27	4	750	175	8	0,9	0,5
13	22	24	1500	400	4	0,4	28	3	750	190	9	0,7	0,4
14	23	22	1500	375	5	0,3	29	2	750	210	7	0,6	0,8
15	24	20	1500	325	6	0,9	30	1	750	240	4	0,5	0,7

### Вариант №3

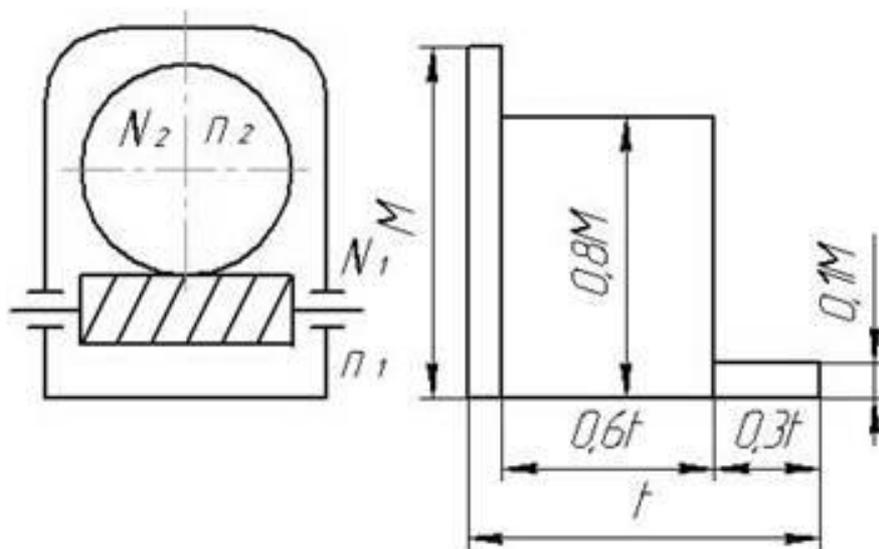


Рис.15 Схема редуктора и график нагрузки

Таблица 3. Исходные данные вариант №3

№ вар., п/п	$N_2$ , Н×м	$n_1$ , об/мин	$n_2$ , об/мин	L, год	$n$ , сут.	K, год	№ вар., п/п	$N_2$ , Н×м	$n_1$ , об/мин	$n_2$ , об/мин	L, год	$n$ , сут.	K, год
1	0,5	1200	220	7	0,4	0,8	16	17	3000	510	10	0,3	0,8
2	0,7	200	260	6	0,5	0,7	17	21	3000	485	11	0,5	0,4
3	0,9	1200	295	5	0,6	0,5	18	25	3000	450	9	0,7	0,5
4	1,1	1200	315	4	0,7	0,4	19	29	3000	675	8	0,8	0,6
5	1,3	1200	430	6	0,8	0,7	20	35	3000	870	7	0,7	0,6
6	1,5	1500	260	8	0,7	0,4	21	40	1000	190	4	0,6	0,8
7	1,7	1500	290	10	0,6	0,5	22	45	1000	215	5	0,5	0,3
8	1,9	1500	340	9	0,5	0,7	23	50	1000	285	6	0,4	0,7
9	2,0	1500	395	7	0,4	0,8	24	55	1000	360	7	0,3	0,8
10	2,5	1500	480	5	0,3	0,9	25	60	1000	425	8	0,2	0,9
11	3,5	750	125	6	0,2	0,7	26	55	600	105	9	0,3	0,7
12	4,5	750	250	8	0,8	0,3	27	50	600	130	10	0,4	0,5
13	5,5	750	310	5	0,6	0,4	28	45	600	170	4	0,5	0,6
14	9	750	260	6	0,4	0,6	29	40	600	190	6	0,6	0,7
15	13	750	340	7	0,2	0,9	30	35	600	285	7	0,7	0,8

## ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Спроектировать двухступенчатый цилиндрический косозубый редуктор в соответствии вариантами, представленными в табл. 4

Таблица 4. Исходные данные для курсового проектирования

№ варианта	Мощность на выходном валу $N_p$ , кВт	Передаточное отношение редуктора, $U$	Частота вращения быстроходного вала $n_1$ , об/мин	Срок службы редуктора, лет
1	Определяется как номер варианта, умноженный на последнюю цифру номера зачетной книжки	Определяется как номер варианта, умноженный на 5, плюс последняя цифра зачетной книжки	3000	7
2			1500	8
3			750	9
4			3000	7
5			1500	8
6			750	9
7			3000	7
8			1500	8
9			750	9
10			3000	7
11			1500	8
12			750	9
13			3000	7
14			1500	8
15			750	9

Исходные данные для выполнения практических и курсовых работ выдаются и согласуются с преподавателем.

## ОФОРМЛЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Практическая работа оформляется в виде пояснительной записки и графических материалов в соответствии с требованиями ЕСКД. Пояснительная записка должна содержать следующие элементы:

1. Титульный лист.
2. Текст пояснительной записки:
  - цель работы,
  - исходные данные для проектирования редуктора,
  - описание последовательности работы в программном модуле АРМ Drive в соответствии с общим порядком расчета, представленном настоящем учебном пособии.
3. Графические материалы:
  - кинематическая схема редуктора,
  - сгенерированный чертеж зубчатого колеса,
  - сгенерированный чертеж вала,
  - сгенерированный чертеж заготовки спроектированного редуктора.

Примечание: при оформлении графического материала в пояснительной записке рисунки пронумеровываются с присвоением соответствующих подрисуночных названий.

4. Заключение. По результатам практической работы резюмируются полученные в процессе выполнения задания навыки.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Современные тенденции развития инженерии все чаще направлены на создание и развитие систем автоматизированного проектирования (САПР). В процессе обучения студент должен получить навыки и умения работы в прикладных программах расчета.

Используя данное учебное пособие, студент знакомится с программным продуктом APM WinMachine и его модулями: APM Drive, APM Trans, APM Shaft, APM Bear и APM Graph. Данные модули подходят для ознакомления студента с основными принципами работы в САПР и получения первичных знаний и навыков проектной деятельности на примере проектирования редуктора.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молодова Ю.И. Пути повышения экономической эффективности новой техники – Санкт-Петербург: ИХБТ, НИУ ИТМО, 2008 – 17 с.
2. Самойлов Е.А., Джамай В.В. Детали машин и основы конструирования. 2-е изд., пер. и доп. Учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: Издательство Юрайт, 2015 – 423 с.
3. Шелофаст В.В., Чугунова Т.Б. Основы проектирования машин. Примеры решения задач. – М.: Издательство АПМ, 2004 – 240 с.
4. Молодова Ю.И. Проектровочный расчет двухступенчатого цилиндрического редуктора в модуле АРМ Drive - Санкт-Петербург: ИХБТ, НИУ ИТМО, 2008 – 60 с.

Молодова Юлия Игоревна  
Цветков Вадим Александрович

**ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ  
ДВУХСТУПЕНЧАТОГО  
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА  
В МОДУЛЕ АРМ DRIVE**

**Учебно-методическое пособие**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел  
Университета ИТМО**

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49