

*муниципальное автономное общеобразовательное учреждение  
города Калининграда лицей*

# ***ПРОЕКТ***

## ***Мой первый механический редуктор***

*Разделы технологии:  
Технологии изготовления изделий из искусственных материалов*



*Разработали:  
Илья П. (8кл.-СОШ 10),  
Георгий М. (8кл-лицей 23)  
Педагоги: Мазин М.Е., Гнатюк И.В.*

*г. Калининград 2018г.*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП</b>	
<i>Актуальность, обоснование проблемы, тема проекта. Цели, задачи.</i>	<b>3</b>
<i>Сбор информации по теме проекта. Информация о PLA-пластике</i>	<b>4</b>
<i>Анализ идей. Выбор оптимальной идеи.</i>	<b>7</b>
<i>Выбор технологий изготовления. Описание будущего изделия.</i>	<b>8</b>
<i>Экономическое и экологическое обоснование будущего изделия.</i>	<b>9</b>
<b>2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП</b>	
<i>Оборудование, инструменты, материалы</i>	<b>9</b>
<i>Технические характеристики изделия</i>	
<i>Поэтапное выполнение изделия</i>	<b>10</b>
<i>Описание окончательного варианта изделия</i>	<b>11</b>
<b>3. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП</b>	
<i>Экономическая и экологическая оценка готового изделия. Экономический расчёт</i>	<b>12</b>
<i>Эстетическая оценка. Самооценка выполненной работы</i>	<b>13</b>
<i>Чертежи Реклама</i>	<b>17</b>

**I. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**АКТУАЛЬНОСТЬ, ОБОСНОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ,**  
**ТЕМА ПРОЕКТА**

*Зубчатые передачи являются неотъемлемой частью большинства механизмов и машин, используемых в промышленности, сельском хозяйстве, транспорте, в быту. Они применяются в качестве передаточного устройства для преобразования моментов или движения. Наиболее распространенные эвольвентные цилиндрические передачи внешнего зацепления - прямозубые.*

*Учебный стенд для изучения вопросов физики (разделы: статика и кинематика), теоретической механики, теории машин и механизмов, деталей машин и, возможно, некоторых других технических дисциплин (например, материаловедение, техническое черчение, математика, сопротивление материалов, автоматика и т.д.) (далее «Стенд»), предназначен для практического использования в учебных целях в качестве учебного пособия на практических занятиях и упражнениях в средних школах, техникумах и колледжах, ВУЗах, где учащиеся, курсанты и студенты изучают перечисленные выше дисциплины.*

**ТЕМА ПРОЕКТА:** «Мой первый механический редуктор»

**ЦЕЛЬ:**

*Повысить обучаемость учащихся, студентов и курсантов, облегчить их восприятие и понимание материала*

**ЗАДАЧИ:**

- 1. Смоделировать зубчатые передачи, в том числе с геометрией зубьев, используя реальные машиностроительные чертежи.*
- 2. Распечатать шестерёнки на 3D принтере.*
- 3. Смонтировать стенд.*

## **СБОР ИНФОРМАЦИИ ПО ТЕМЕ ПРОЕКТА.**

### **ИНФОРМАЦИЯ О PLA-ПЛАСТИКЕ**

PLA-пластик (полилактид, ПЛА) - является биоразлагаемым, биосовместимым, термопластичным алифатическим полиэфиром, структурная единица которого - молочная кислота  $C_3H_6O_3$ .

ПЛА-пластик производят из кукурузы или сахарного тростника.

Сырьем для получения служат также картофельный и кукурузный крахмал, соевый белок, крупа из клубней маниока, целлюлоза.

На сегодняшний день полилактид активно используется в качестве расходного материала для печати на 3D-принтерах.

#### **Безопасность PLA-пластика**

Натуральное природное сырье в составе PLA-пластика позволяет без угрозы для здоровья человека применять его для различных целей.

При изготовлении PLA-пластика значительно сокращаются выбросы углекислого газа в атмосферу по сравнению с изготовлением «нефтяных» полимеров. На треть уменьшается использование ископаемых ресурсов, применение растворяющих веществ не требуется вообще.



Как правило, PLA-пластик поставляется в виде тонкой нити, которая намотана на катушку.

#### **Преимущества PLA-пластика при 3D-печати**

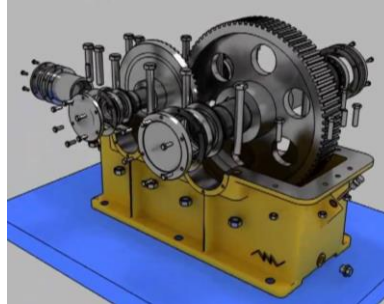
- нетоксичен;
- широкая цветовая палитра;
- при печати нет необходимости в нагретой платформе;
- размеры стабильны;
- идеален для движущихся частей и механических моделей;
- отличное скольжение деталей;
- экономия энергозатрат из-за низкой температуры размягчения нити;
- нет необходимости применять каптон для смазывания поверхности для наращивания прототипа;
- гладкость поверхности напечатанного изделия;
- получение более детальных и полностью готовых к применению объектов.



Поэтому мы в своём проекте остановились на этом материале.

Использованы инновационные технологии, а именно: для повышения презентабельности стенда принято решение использовать композитные материалы, проектировались зубчатые колёса и шестерни в ПО Компас с дальнейшим распечатыванием на 3D принтере.

**Редуктор (механический)** — механизм по передаче мощности вращением, главной функцией которого является редукция, то есть снижение усилия, необходимого для привода устройства, преобразующего передаваемую мощность в полезную работу. Каноническим видом механического редуктора является пара взаимозацепленных цилиндрических шестерён, из которых ведущая шестерня меньшего размера, а ведомая — большего.



#### **Основные характеристики редуктора**

Таковыми являются: тип передачи, тип зацепления, КПД, передаточное отношение, величина передаваемой мощности (номинальный крутящий момент на тихоходном валу и максимальные окружные скорости зубчатых колёс), число ступеней редукции.

#### **Передаточное отношение**

В дополнение к общему определению передаточного отношения, предполагающему отношение угловых скоростей ведущей и ведомого валов  $i = \omega_1 / \omega_2$ , в любом механическом редукторе на зубчатых колёсах такое может быть подсчитано без замеров угловых скоростей по формулам, учитывающим число зубьев. Для определения передаточного отношения любого редуктора из двух взаимозацепленных зубчатых колёс, независимо от их формы и типа зацепления (цилиндрического, конического, гипоидного, червячного), верна формула вида  $z_2 / z_1$ , где  $z_1$  — число зубьев ведущего зубчатого колеса (число заходов червяка), а  $z_2$  — число зубьев ведомого зубчатого колеса. Передаточное отношение планетарного редуктора определить таким образом также возможно, хотя оно не имеет единой формулы подсчёта, и для его определения по числу зубьев всегда надо понимать, какое звено планетарного редуктора является ведущим/ведомым/опорным, а также учитывать тип и форму конкретного планетарного механизма.

Общее передаточное отношение всех редукторов, задействованных в конкретной кинематической цепи, равно произведению их передаточных отношений.

#### **Шестерёнки с нулевым зацеплением.**

Внешний диаметр- окружность вершин  $= D + 2m$

**Внутренний диаметр- окружность впадин= $D-2.5m$**

**Зазор между окружностями - Высота зубца  $h=(Da-Df)/2=2.25m$**

**$m$ -модуль зубчатого колеса  $=m_1=m_2$** , делит высоту зубца на 2 части:  $m$  и  $m=1,25$ . Четверть у основания зубцов служит зазором между этой и соприкасаемой с ней шестерёнкой. От центра шестерёнки до центра зубца можно провести ещё одну окружность, которая наз-ся **делительной окружностью**.

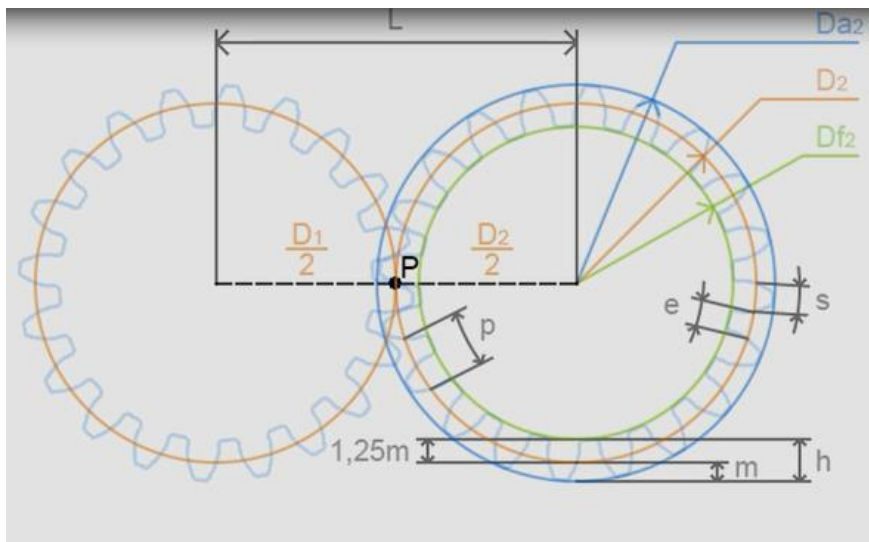
Ширина (толщина) зубца – длина дуги на делительной окружности

Толщина впадины - длина дуги на делительной окружности. Их сумма равна шагу зубчатого зацепления- $p$ . Шестерёнки, у которых  $s = e$  имеют нулевое зацепление.

Строим такие шестерёнки. Они проще, т.к. их начальная окружность  **$Dw$**  совпадает с делительной  **$=D$** . А значит делительные окружности соприкасаемых шестерёнок имеют одну точку касания  **$p$** , называемой **полюсом зацепления**, которая лежит на межосевой линии.

Линии между центрами 2-х шестерёнок длина которой  $L$  равна сумме радиусов или половине диаметров делительных окружностей:  $D_1/2, D_2/2$ . Все значения рассчитываются по простым модулям, все значения которых рассчитываются по простым формулам и большинство привязывается к модулю зубчатого колеса. Его значение одинаково для обеих шестерёнок и рассчитывается согласно ГОСТ 95-63 и рассчитывается от высоты зубцов, если высота не стандартная.

$Da$ - окружность вершин	$= D + 2 m$
$Df$ - окружность впадин	$= D - 2,5 m$
$h$ - высота зубца	$= \frac{Da - Df}{2} = 2,25 m$
$m$ - модуль зубчатого колеса	$= m_1 = m_2 \quad \dots 0,5 \ 0,6 \ 0,8 \ 1,0 \ 1,25 \ 1,5 \ 2 \ 2,5 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \dots$
$D$ - делительная окружность	$= Da - 2m = z \cdot m$
$s$ - ширина (толщина) зубца	$= 0,5 p \quad (\text{при } s = e)$
$e$ - ширина впадины	$= 0,5 p \quad (\text{при } s = e)$
$p$ - шаг зубчатого зацепления	$= s + e = \pi \cdot m$
$Dw$ - начальная окружность	$= D \quad (\text{при } s = e)$
$L$ - межосевое расстояние	$= \frac{Dw_1 + Dw_2}{2} = \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m$
$Db$ - основная окружность	$= D \cdot \cos 20^\circ$
$z$ - количество зубцов	$= \frac{D}{m}$
$i$ - передаточное отношение	$= \frac{D_2}{D_1} = \frac{z_2}{z_1} = \text{указывается}$



Основная окружность  $D_b = D \cos 20^\circ$ , потребуется для построения эвольвенты зубцов. Также потребуется рассчитать **количество зубцов  $Z=D/m$** . И указать передаточное отношение  $i=D_2/D_1=Z_2/Z_1$  – отношение диаметров или отношение кол-ва зубцов соприкасаемых шестерёнок.

Для расчёта всех значений достаточно знать передаточное отношение, высоту зубцов или модуль и один любой из оставшихся параметров для любой шестерёнки.

Например, межосевое расстояние  $L=30\text{мм}$ , передаточное отношение задано 1:2, модуль зубчатого колеса  $=1$ . Тогда определим начальные окружности:  **$(D_{w1}+D_{w2})/2=(z_1+z_2)/2 * m$** .

Так как нач. окружности для шестерёнок совпадают с делительными, значит расстояние  $30\text{мм}=(D_1+D_2)/2$ . Избавимся от 2 в делителе, умножив на неё расстояние:  $60=D_1+D_2$ . Передаточное отношение равно 1:2 – значит на  $D_1$  приходится одна часть межосевого расстояния, а на  $D_2$  приходится 2 части межосевого расстояния. А всего межосевое расстояние нужно разделить на 3 части:  $D_1=60/3*1=20\text{мм}$  – получаем диаметр делительной окружности 1-ой шестерёнки. Диаметр делительной окружности 2-ой шестерёнки  $D_2=60/3*2=40\text{мм}$

Окружности вершин:  $Da_1=20+2*1=22\text{мм}$  для 1-ой шестерёнки,

Окружности вершин:  $Da_2=40+2*1=42\text{мм}$  для 2-ой шестерёнки.

Окружности впадин:  $Df_1=20-2,5*1=17,5\text{мм}$  для 1-ой шестерёнки, Окружности впадин:  $Df_2=40-2,5*1=37,5\text{мм}$  для 2-ой шестерёнки.

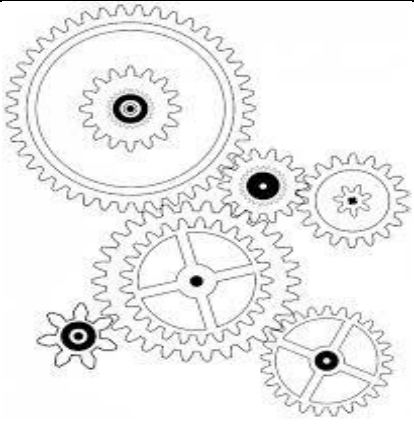


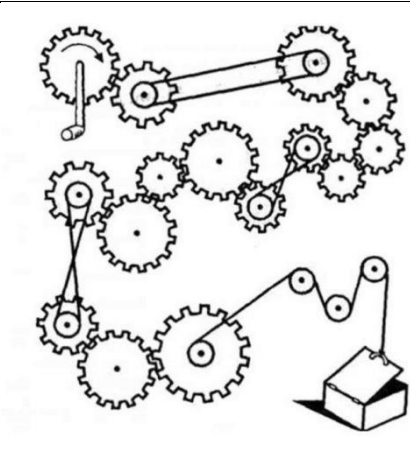
**Кол-во зубцов:  $z=D/m$   $z_1=20/1=20$  зубцов у 1-ой шестерёнки,  $z_2=40/1=40$  зубцов у 2-й шестерёнки.**

Высота и ширина зубцов, ширина впадин, шаг зубчатого зацепления и нач. окружность в построении шестерёнок не участвует.

Основную окружность построим введя не её значения, а прямо указав формулу.

## АНАЛИЗ ИДЕЙ. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ИДЕИ.

Прежде чем приступить к разработке и изготовлению изделия мы собрали информацию по нашей теме.

	
<p>Вариант №1</p>	<p>Вариант №2</p>
	
<p>Вариант №3</p>	<p>Вариант №4</p>

Все варианты оригинальны, имеют свои преимущества. Но для разработки редукторов нам более понравился вариант №4, который мы взяли за основу и переделали под детали машин, а именно под редуктор.

### **ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ. ОПИСАНИЕ БУДУЩЕГО ИЗДЕЛИЯ**

Предполагается, что настоящее изделие будет спроектировано на компьютере в ПО Компас 3D и произведено на 3D принтере в масштабе 1:1 и распечатано пластиком PLA. Для наглядности были выбраны размеры зубчатых колёс в диаметре от 50мм до 200мм. Для более точного исполнения деталей к машиностроительным будут взяты элементы деталей из настоящих деталей машин: зубья формы эвольвенты, ступицы, обнижение, отверстия для облегчения деталей и т.д. Эвольвентное

зацепление даёт возможность зубчатым колёсам передавать большой крутящий момент. И казалось бы «игрушечные» детали машин на стенде будут работать как настоящие.

### **Практическое использование (применение) Стенда.**

Представленный Стенд настенного исполнения при необходимости может быть напольным, может быть использован в учебных заведениях- конкретно в аудиториях в качестве учебного пособия. Под разные группы шестерёнок и колёс можно составить множество задач для решения в вышеперечисленных дисциплинах.

## **ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ БУДУЩЕГО ИЗДЕЛИЯ**

Мы хотим создать учебное пособие в виде стенда с наименьшими затратами и думаем, что нам это удастся, т.к. в учебно-технологическом корпусе лицея №18 есть в наличии полилактид (PLA) и композитный материал.

Пластик и композит являются экологически чистыми материалами, закуплены в магазинах г. Калининграда, имеющих лицензию и сертификаты качества на свою продукцию. Мы заботимся о своем здоровье и о здоровье окружающих нас людей.

## **2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП**

### **Конструкторская документация**

Чертежи каждого зубчатого колеса оформляются после процесса моделирования с использованием ПО Компас 3D V17.

### **Изготовление Стенда**

В качестве основы Стенда взят композитный материал.

Основные детали машин – шестерни и зубчатые колёса были спроектированы подобно настоящим деталям из металла, т.е. они имеют все необходимые элементы: ступицу, обод двухсторонний, отверстия для облегчения, конфигурацию зубьев, сопряжения и т.д., - распечатывались на 3D-принтере. Большинство чертежей представлено в проекте дополнительно.

### **Инструменты, выбор материалов**

#### **Оборудование:**

3D- принтер, компьютер, ПО Компас 3D V17

**Материалы:**

PLA-пластик;

винты М6;

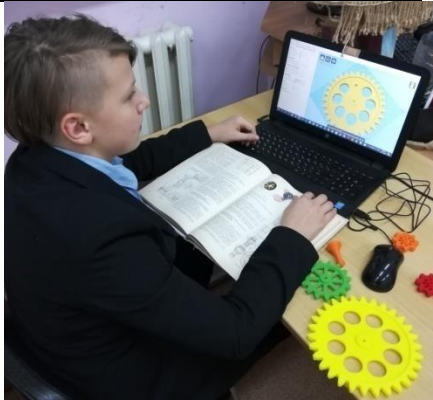
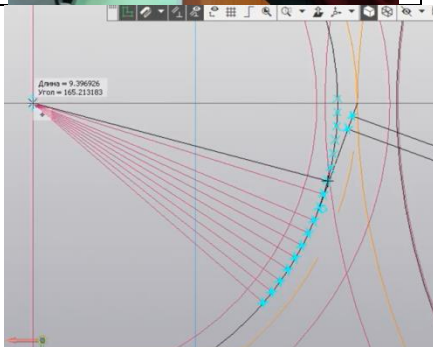
гайки М6, шайбы М6


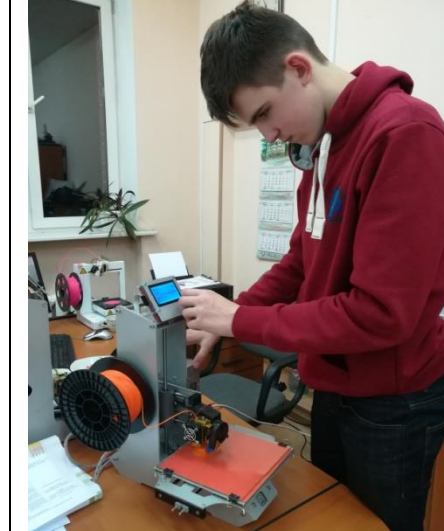
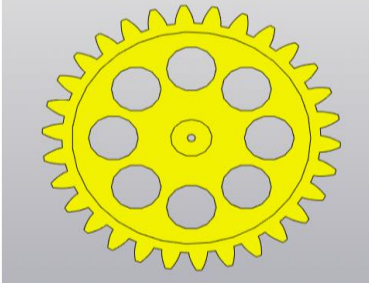
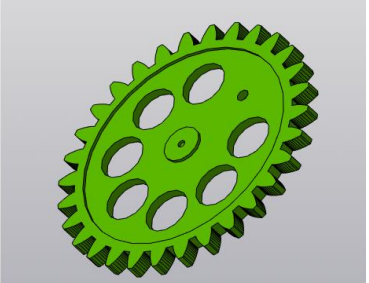

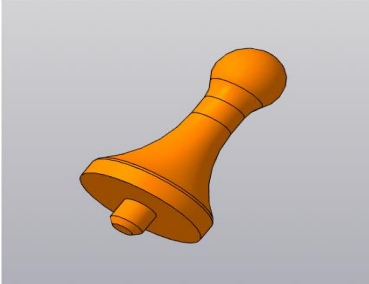
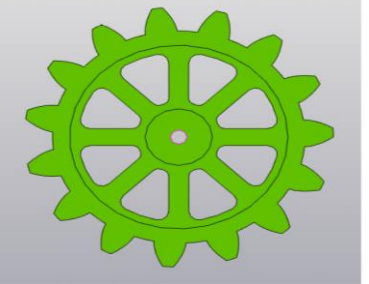
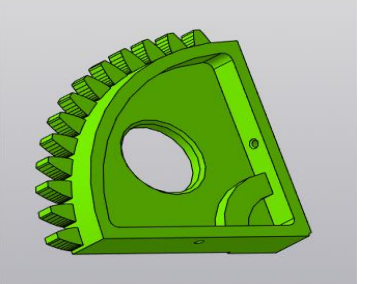

**Технические характеристики изделия**

Наименование детали	Вес
Маховик	14г
Шестерёнка 5,6,10(Ø92)	40г
Ведущая шестерёнка(Ø180)	149г
Шестерёнка(Ø180)	145г
Шестерёнка(Ø112)	63г
Шестерёнка Четверть(Ø300)	242г
Всего:	653г

Суммарный вес деталей машин не превышает 1кг

**ПОЭТАПНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗДЕЛИЯ**

№ п/п	Описание этапов изготовления изделия	Изображение
1.	Моделирование шестерёнок в программе Компас 3D V17	
	Моделирование шестерёнок в программе Компас 3D V17	
	Проектирование эвольвентного зацепления в программе Компас 3D V17	

2.	Печать шестерёнок на 3D принтере NEO		
3.			
			
	Сборка стенда		

*В своей работе мы будем соблюдать правила техники безопасности.*

### **Описание окончательного варианта изделия**

#### **Достоинства изделия**

*Благодаря стенду можно понять работу двух и более деталей; полностью представить направление в решении задач по расчёту самих*

деталей машин каждой в отдельности и в группе, чтобы ещё на начальном этапе проектирования можно было бы представить кинематическую схему и конструкцию будущего редуктора и/или другого механизма. Благодаря стенду можно составить задачи по расчётам передаточного числа, угловых и линейных скоростей, запоминания положительного и отрицательного вращения

(в математике), правого и левого вращения (т.е. по часовой стрелке или против), передаточные усилия на зубьях при вращении и/или поворотах деталей и многое другое.

**Недостатки:** Работа над данным стендом будет иметь продолжение: количество зубчатых колёс будет увеличено. Также планируется составить комплект задач для учащихся 5-8 классов, которые возможно решить с помощью данного стенда.

### 3. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

#### ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОТОВОГО ИЗДЕЛИЯ. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ

Расчёт себестоимости производится по формуле:

$$C = M_3 + P_{оп} + Z_{др}$$

**C**-себестоимость продукции (товаров, услуг),

**M<sub>3</sub>** -материальные затраты на производство и реализацию продукции;

**P<sub>оп</sub>**-расходы на оплату труда;

**Z<sub>др</sub>**-другие затраты на производство и реализацию продукции

#### 1. Определяем материальные затраты **M<sub>3</sub>**

Материальные затраты - это стоимость материалов плюс оплата электроэнергии.

Перечень комплектующих:

Наименование детали	Цена за г	Количество	Цена всего
Маховик	1,5	14г	21р
Шестерёнка 5,6,10(Ø92)	1,5	40г	60р
Ведущая шестерёнка(Ø180)	1,5	149г	223,5р
Шестерёнка(Ø180)	1,5	145г	217,5р
Шестерёнка(Ø112)	1,5	63г	94,5р
Шестерёнка Четверть(Ø300)	1,5	242г	363р
	1,5	653г	979,5р

**Определяем расходы на оплату труда **P<sub>оп</sub>**:**

Минимальная оплата в Калининградской области составляет 11 500 рублей. В месяц примерно 25 рабочих дня  $11500:25 = 460$ , полученное число делим на 8 рабочих часов, стоимость 1 часа составляет в среднем около 57,5 руб. Так как я не являюсь квалифицированным специалистом, то я буду рассчитывать своё изделие из расчёта 10 рублей в час.

На изготовление стенда ушло примерно 40 часов. Следовательно, затраченное время оплачивается зарплатой:

$$40 \text{ часов} \times 10 \text{ руб} = 400 \text{ руб}$$

$$P_{оп} = 400 \text{ руб}$$

$Z_{др}$  – другие затраты на изготовление изделия.

Дополнительными затратами являлись затраты на поиск информации и аналогов в Интернете. В месяц безлимитный выход стоит 350 руб. В среднем в час у нас получилось 35 копеек. Мы работали в Интернете 0,5 часов.

$$Z_{др} = 0,5 \text{ ч.} \times 0,35 \text{ р.} = 1,75 \text{ р.}$$

$$C = M_з + P_{оп} + Z_{др}$$

$$C = 979,5 + 400 + 1,75 = 1381 \text{ руб. 25 коп.}$$

**Вывод: стенд стоит 1381 руб. 25 коп. (если бы мы покупали всё в магазине)**

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА**

Стенд проектировался таким образом, чтобы использовать имеющееся в наличии материалы и технологии, имеющиеся в УТК, с целью наибольшей экономии в производстве.

Материалы ранее приобретены в магазинах, имеющих лицензию и сертификаты качества на свою продукцию. Поэтому материалы наши экологически чистые. Мы заботимся о своем здоровье и о здоровье окружающих нас людей.

В своей работе мы соблюдали правила техники безопасности.

## **ЭСТЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА**

Т.к. основные экспонаты закреплены на плите из композитного материала можно считать, что исполнение стенда выполнено на достаточно высоком уровне учитывая отсутствие заводских условий.

Мы очень довольны выполненной работой, получили ожидаемый результат. Узнали много нового и нужного. Изделие соответствует требованиям промышленного дизайна.

## **САМООЦЕНКА ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЫ**

1. Самое главное – проект достигнул цели.
2. Изделие получилось достаточно хорошего качества.  
Изделие собиралось без привлечения специалистов.