

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальная инженерия»

Буркитбаев А.Ж.

Компьютерное моделирование механизма регулирования закрытой  
высоты кривошипного пресса ус.630 кН

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071200 – Машиностроение

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальная инженерия»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Зав. кафедрой «Индустриальная  
инженерия»  
Доктор PhD.  
\_\_\_\_\_ Арымбеков Б.С.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Компьютерное моделирование механизма регулирования закрытой  
высоты кривошипного пресса ус.630 кН»

по специальности 5В71200 – Машиностроение

Выполнил

Буркитбаев А.Ж.

Рецензент

Научный руководитель  
Кандидат технических наук,  
ассистент - профессор  
\_\_\_\_\_ Орлова Е.П.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальная инженерия»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
«Индустриальная инженерия»  
Доктор PhD.

\_\_\_\_\_ Арымбеков Б.С.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

### **ЗАДАНИЕ**

#### **на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся *Буркитбаеву Асылбеку Жайықбекұлы*

Тема: «Компьютерное моделирование механизма регулирования закрытой высоты кривошипного пресса ус.630 кН»

Утверждена приказом Ректора Университета №762-б от «27» января 2020 г.

Срок сдачи законченной работы «01» июня 2020г.

Исходные данные к дипломной работе: Чертеж, срок службы, передаточное число, момент вращения на входном и выходном валах, частота вращения на входном и выходном валах.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены \_\_\_ слайдов презентации работ.

Рекомендуемая основная литература: 7 наименований

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологическая	11.02-11.03.2020	
Конструкторская часть	12.03-16.04.2020	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект)  
с указанием относящихся к ним разделов работы(проекта)

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч.степень,звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Орлова Е.П.,		
Нормоконтролер	Орлова Е.П.,		

Научный руководитель

\_\_\_\_\_

Орлова Е.П.

Задание принял к исполнению обучающийся

\_\_\_\_\_

Бүркітбаев А.Ж.

Дата

«11» 02 2020 г.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассмотрен механизм регулирования закрытой высоты кривошипного пресса. На основе исходных данных был произведен аналитический расчет, а также проектировочный расчет червячной передачи в модуле APM Trans входящая в систему APM WinMachine. По полученным данным проверяем полученные ранее вычисления на прочность при помощи программы APM Fem. Данная дипломная работа позволяет сравнить результаты расчетов на прочность, полученные двумя методами расчета.

## ANNOTATION

In this thesis, the mechanism for regulating the closed height of the crank press is considered. Based on the initial data, an analytical calculation was made, as well as a design calculation of the worm gear in the APM Trans module included in the APM WinMachine system. Based on the obtained data, we check the previously obtained calculations for strength using the APM Fem program. This thesis allows you to compare the results of strength calculations obtained by two methods of calculation.

## АННОТАЦИЯ

Бұл дипломдық жұмыста қисық типті Престің жабық биіктігін реттеу механизмі қарастырылған. Бастапқы деректердің негізінде жүргізілген талдау есебі, сондай-ақ проектировочный есептеу червячной беру модулі АРМ Trans жүйесіне кіретін АРМ WinMachine. Алынған мәліметтер бойынша АРМ Fem бағдарламасының көмегімен бұрын алынған беріктікке есептеулерді тексереміз. Бұл дипломдық жұмыс екі әдіспен алынған беріктікке есептеу нәтижелерін салыстыруға мүмкіндік береді.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Технологическая часть	10
1.1	Принцип действия и классификация кривошипных прессов	10
1.2	Механизм регулирования закрытой высоты пресса	12
2	Расчет червячной передачи	15
2.1	Исходные данные	15
2.2	Расчет допускаемых контактных и изгибных напряжений червячного колеса	15
2.3	Расчет межосевого расстояния передачи	16
2.4	Расчет основных геометрических параметров передачи	17
2.5	Расчет сил в зацеплении	17
2.6	Проверка червячной передачи на контактную и изгибную прочность	18
2.7	Тепловой расчет передачи	19
3	Расчет червячной передачи в программе APM TRANS	21
4	Расчет максимального напряжения и коэффициента запаса на прочность червяка при помощи CAE-систем	24
	Заключение	28
	Список использованной литературы	29
	Приложение А	30



## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время частым стало внедрение во всевозможных производственных сферах такого оборудования как кривошипный пресс. Данный вид установки представляет собой неотъемлемую часть при производстве всевозможных деталей, для их штамповки, для работы с металлическими поверхностями при помощи холодного и горячего воздействия.

Кривошипные прессы можно встретить где угодно, в частности в мастерских, заводах и даже гаражах, но обычно там используют прессы ручного типа. Нужно выделить, то что в настоящий период более популярным видом прессы с целью применения в различных металлообрабатывающих производствах является непосредственно такое оборудование.

К преимуществам прессов можно отнести высокую производительность, эргономичное управление, безопасную и экономичную эксплуатацию, жесткую станину для точности обработки, широкий модельный ряд.

## **1 Технологическая часть**

### **1.1 Принцип действия и классификация кривошипных прессов**

Кривошипный пресс — это машина с кривошипно-ползунным механизмом, предназначенная для изготовления различных деталей.

Их используют для выполнения практически всех заготовительных и основных операций горячей и холодной штамповки.

Общий критерий кривошипных прессов – однообразие привода, включающего в себя персональный электродвигатель, ременные и зубчатые передачи. В системе привода установлены сцепные приборы (муфты), они дают возможность совмещать, а также разделять валы передач, и тормозные механизмы с целью приостановки элементов в конкретном положении. Приводы могут отличаться кинематической схемой в зависимости от предназначения и критериев работы.

Несмотря на наличие сравнительно большого числа видов прессов, можно утверждать, что 90 % всего парка кривошипных машин составляют кривошипные прессы общего назначения [1].

Пресс выполняет такие действия как вырубка, обрезка металла, прошивка, гибка и другие операции, которые относятся к холодной штамповке.

Главным компонентом кривошипного пресса считается ползун. За счет возвратно-поступательного движения ползуна происходят все основные задачи.

Из-за перемещения ползуна, приходит в действие штамп, который считается непосредственным исполнителем абсолютно всех действий кривошипного пресса. По конструкции штамп изготовлен из двух элементов, один из которых является подвижным, называемый пуансон. Вторая часть называется матрицей, и она остается неподвижной на столе.

Кривошипные прессы и ножницы выполняют широкие виды холодной и горячей штамповки из сортового и листового проката. Делятся по технологическому применению на следующие виды [2]:

1. Штамповочные прессы для производства изделий из листового материала;
2. Прессы для производства поковок с помощью объемной штамповки из сортового проката;
3. Ножницы.

На рисунке 1 показан общий вид кривошипного пресса.

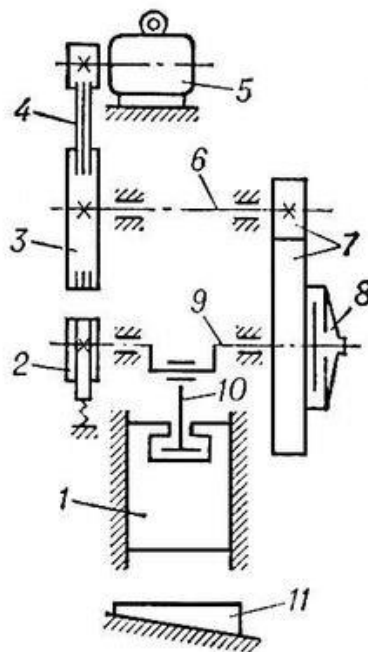


Рисунок 1- Кривошипный пресс

Прессы бывают многократного и простого действия. Прессы, содержащие больше двух рабочих и вспомогательных механизмов, которые выполняет дополнительные функции, называются прессами многократного действия [3].

Все операций выполняемые на прессах многократного действия осуществляется строго по определенной последовательности, чтобы предопределить необходимость одновременной работы при движении отдельных механизмов пресса. В таких прессах многократного действия существуют распределительные или управляющие механизмы. Они синхронизируют работу и обеспечивают его цикличность.

Каждый пресс имеет свою кинематическую схему. Кинематическая схема — это такая схема, которая показывает в какой последовательности происходит передача движения от двигателя через передаточный механизм к рабочим органам машины и их взаимосвязь. Так как существует множество видов и вариаций прессов, то и этих смех бесчисленное множество. На рисунке 2 показана одна из вариаций кинематической схемы кривошипного пресса.



- 1 — ползун; 2 — тормоз; 3 — маховик; 4 — клиноременная передача;  
 5 — электродвигатель; 6 — передаточный вал; 7 — зубчатая передача; 8 — муфта; 9 — кривошипный вал; 10 — шатун;  
 11 — плита для укрепления матрицы штампа

Рисунок 2 – Кинематическая схема кривошипного пресса

Как видно по рисунку, электродвигатель приводит в действие клиноременную передачу, что в свою очередь передает крутящий момент на червячную передачу. Зубчатая передача в свою очередь соединена муфтой с кривошипным валом, который двигает шатун, тем самым давая возможность ползуну совершать возвратно-поступательные движения.

## 1.2 Механизм регулирования закрытой высоты пресса

В данной работе мы проводим расчет для закрытой высоты пресса. Закрытой высотой пресса называется расстояние от плиты, где располагается матрица штампа до ползуна пресса в нижнем его положении при наибольшей величине хода и наименьшей длине шатуна.

В нашем механизме основным элементом, отвечающим за движение ползуна, является червячная передача, приводимая в действие с помощью электродвигателя. На рисунке 3 показан механизм регулирования закрытой высоты пресса, проектируемый в данной работе.

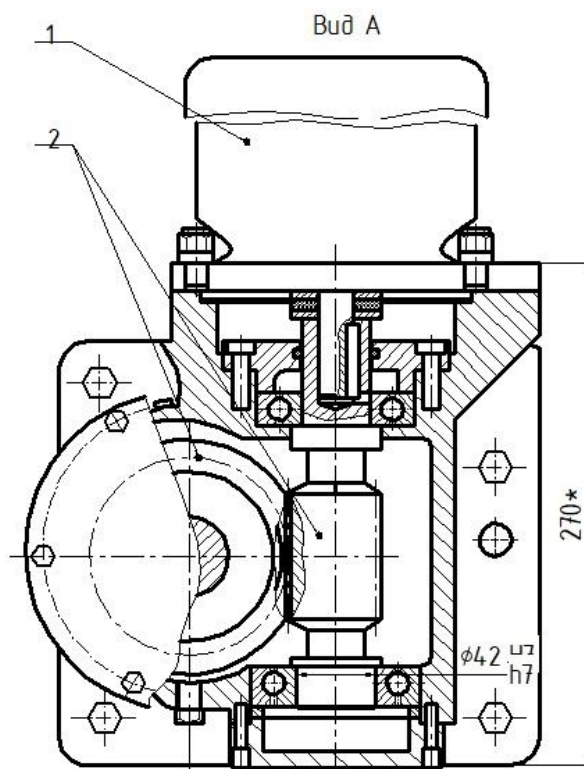


Рисунок 3 – Механизм регулирования закрытой высоты прессы

Червячная передача представляет собой устройство где вращение передается между валами червячного колеса и червяка. Ниже на рисунке 4 можно увидеть типичный мотор-редуктор, который применяется в самых различных приводах механического оборудования.



Рисунок 4 – Мотор-редуктор

Существует несколько видов получения червяка. Мы рассмотрим только один из них называемый Архимедов червяк. Его получают при расположении режущих кромок резца в плоскости, проходящей через ось червяка.

Архимедов червяк является самым простым при изготовлении. Назван он так из-за того, что профиль витка в торцевом сечении будет иметь форму архимедовой спирали [4].

Закрытая высота прессы может регулироваться в определенных пределах за счет изменения длины шатуна, имеющего винтовое соединение с ползуном. Благодаря этому на пресс можно устанавливать штампы с различной закрытой высотой. Ниже на рисунке 5 можно увидеть, как выглядит рабочее пространство прессы.

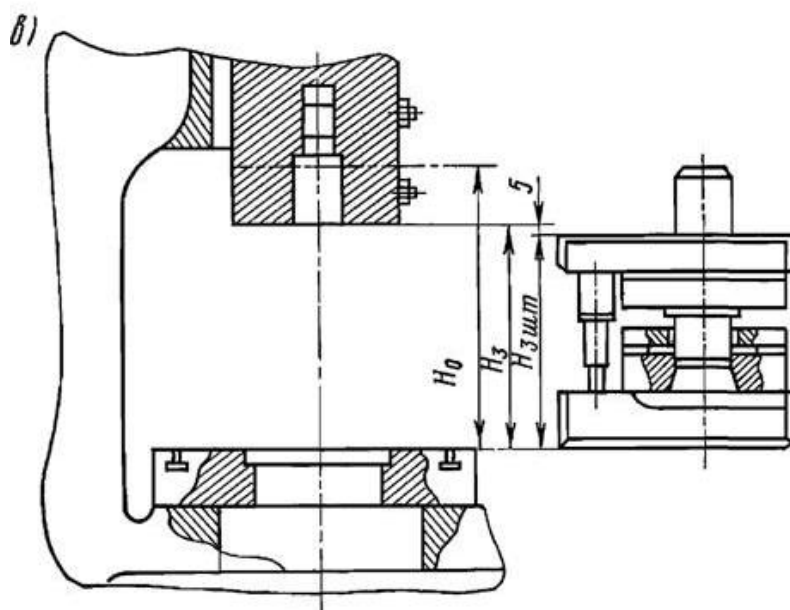


Рисунок 5 – Рабочее пространство прессы

Установить штамп на стол прессы можно только если закрытая высота штампа  $H_{зшт}$  будет меньше закрытой высоты прессы хотя бы на 5 мм. Если данное условие не будет выполняться, то при ходе ползуна вниз может произойти поломка прессы или штампа [5].

## 2 Расчет червячной передачи

### 2.1 Исходные данные

Основные параметры:

Крутящий момент на валу червячного колеса	$T_2 = 500 \text{ Н} \cdot \text{м}$
Крутящий момент червяка	$T_1 = 50 \text{ Н} \cdot \text{м}$
Число оборотов червяка	$n_1 = 180 \text{ об/мин}$
Передаточное число	$u = 20$

### 2.2 Расчет допускаемых контактных и изгибных напряжений червячного колеса

Для расчета межосевого расстояния для начала нужно посчитать скорость скольжения червяка, тем самым мы сможем выбрать материалы для червяка и червячного колеса.

$$V_S = 4,5 \cdot 10^{-4} n_1 \sqrt[3]{T_2^2} \text{ м/с} \quad (1)$$

где  $n_1$  - частота вращения червяка,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$T_2$  - вращающий момент на червячном колесе,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ .

$$V_S = 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 180 \sqrt[3]{500^2} = 0,823 \text{ м/с}$$

От скорости скольжения зависит из какой материала будет венец червячного колеса. Для червяка принимаем материал сталь 40Х, термообработка – поверхностная закалка с твердостью 45...55 HRC, материал венца БрА9Ж3Л, способ отливки – в песчаной форме, предел прочности на растяжение  $\sigma_B=450$  МПа, предел текучести  $\sigma_T=295$  МПа [6].

В настоящее время червячные колеса изготавливают преимущественно из бронзы.

Если скорость скольжения меньше 5 м/с применяют безоловянные бронзы, при скорости больше 5 м/с червячные колеса изготавливают из оловянных бронз. [2]

Выбрав материалы, определяем допускаемые контактные и изгибные напряжения для червячного колеса

$$[\sigma]_H = 350 - 25V_S = 350 - 25 \cdot 0,823 = 331 \text{ МПа} \quad (2)$$

$$[\sigma]_{F2} = 0,08\sigma_B \cdot K_{FL} + 0,25\sigma_T \quad (3)$$

$$[\sigma]_{F2} = 0,08 \cdot 450 \cdot 1 + 0,25 \cdot 275 = 104,75 \text{ МПа}$$

где  $K_{FL}$  – коэффициент долговечности;  $K_{FL} = 1$  в случае, если срок службы передачи не ограничен.

### 2.3 Расчет межосевого расстояния передачи

Зная значение передаточного отношения  $u$  назначаем число заходов червяка  $z_1$ , при  $u = 20$   $z_1 = 2$ . Следует что:

$$z_2 = z_1 \cdot u = 2 \cdot 20 = 40 \quad (4)$$

где  $z_2$  – число зубьев червячного колеса

Далее находим коэффициент диаметра червяка.

$$q = (0,212 \dots 0,25) \cdot z_2 = (0,212 \dots 0,25) \cdot 40 = 8,48 \dots 10 \quad (5)$$

Принимаем  $q = 10$

Зная чему равны число зубьев колеса, допускаемое контактное напряжение и коэффициент диаметра червяка можем найти межосевое расстояние.

$$a_\omega = \left( \frac{z_2}{q} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{ \left( \frac{5400}{\sigma_{H2} \cdot z_2 / q} \right)^2 \cdot T_2 \cdot K_H } \quad (6)$$

где  $K_H$  – коэффициент нагрузки, при  $V_S < 3$  принимают  $K_H = 1$

$$a_\omega = \left( \frac{40}{10} + 1 \right) \cdot \sqrt[3]{ \left( \frac{5400}{275 \cdot 40 / 10} \right)^2 \cdot 500 \cdot 1 } = 80 \text{ мм}$$

Вычислив чему равно межосевое расстояние, можем определить, чему равен осевой модуль зацепления.

$$m = \frac{2a_\omega}{(q + z_2)} = \frac{2 \cdot 80}{(10 + 40)} = 3,2 \text{ мм} \quad (7)$$

Примем  $m = 3,15 \text{ мм}$



## 2.4 Расчет основных геометрических параметров передачи

Теперь зная все необходимые данные, рассчитываем геометрические параметры червяка и колеса. В таблице 1 приведены расчетные формулы и результаты.

Таблица 1- Геометрические параметры червячной передачи

Параметр	Расчетные формулы и результаты	
	Для червяка	Для червячного колеса
Делительный диаметр, мм	$d_1 = m \cdot q = 40$	$d_2 = m \cdot z_2 = 40 \cdot 3,15 = 126$
Диаметр вершин, мм	$d_{a1} = 2m + d_1 = 46$	$d_{a2} = 2m + d_2 = 132,6$
Диаметр впадин, мм	$d_{f1} = d_1 - 2,4m = 24$	$d_{f2} = d_2 - 2,4m$
Наибольший диаметр червячного колеса, мм	-	$d_{am2} \leq d_{a2} + \frac{6m}{z_1 + 2}$ $d_{am2} \leq 137,3$
Длина нарезанной части, мм, при $z_1 = 2$	$b_1 = m(11 + 0,06 \cdot z_2)$	$b_2 \leq 0,75d_{a1}$ $b_2 \leq 9,5$
Межосевое расстояние, мм	$a_w = 0,5(d_1 + d_2) = 80$	
Условный угол обхвата червяка колесом $\delta$	$\sin \delta = b_2 / (d_1 - 0,5m) = 0,782$ $\delta = 50^\circ 20'$	
Делительный угол подъёма линии витка	$\gamma = \arctg \left[ \frac{z_1}{q} + 2x \right] = \arctg [0,2 + 2 \cdot 0] = 11^\circ 20'$	

## 2.5 Расчет сил в зацеплении

Уточняем скорость скольжения для определения степени точности передачи.

$$V_s = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60 \cdot 1000 \cdot \cos \gamma} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 1000}{60 \cdot 1000 \cdot \cos 11^\circ 20'} = 1 \text{ м/с} \quad (8)$$

Полученной скорости соответствует 9-я степень точности передачи [7]. Далее уточняем КПД проектируемой червячной передачи.

$$\eta = \frac{0,96 \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \psi')} = \frac{0,96 \cdot \operatorname{tg} 11^\circ 20'}{\operatorname{tg}(11^\circ 20' + 3^\circ 40')} = 0,91 \quad (9)$$

где  $\psi'$  – угол трения,  $\psi' = 3^\circ 40'$ .

Вычислив чему равно КПД, можно проверить крутящий момент на валу червячного колеса.

$$T_2 = T_1 \cdot \eta \cdot u = 237 \cdot 20 \cdot 0,68 = 487 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (10)$$

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2T_1}{d_1} = \frac{2 \cdot 500 \cdot 10^3}{34} = 3570,405 \text{ Н}$$

$$F_{t2} = F_{a1} = \frac{2T_2}{d_2} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3}{126} = 7936,508 \text{ Н}$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 4365,709 \text{ Н}$$

## 2.6 Проверка червячной передачи на контактную и изгибную прочности

Завершив все расчеты делаем проверку передачи. Отклонение не должно быть более 5%.

$$\sigma_H = \frac{5400}{z_2/q} \cdot \sqrt{\left(\frac{z_2/q}{a_\omega}\right)^3 \cdot T_2 \cdot K_H} \quad (11)$$

$$\sigma_H = \frac{5400}{40/10} \cdot \sqrt{\left(\frac{40/10}{80}\right)^3 \cdot 500 \cdot 1} = 317,5 \text{ МПа}$$

Вычисляем недогрузку

$$\frac{\sigma_H - [\sigma]_H}{[\sigma]_H} \cdot 100\% = \frac{317,5 - 325}{325} = -2,3\%$$

Данное значение допустимо.

$$\sigma_F = 0,7 \cdot Y_F \cdot \frac{q_{Ft}}{m_n},$$

где  $Y_t$  - коэффициент формы зуба, при эвольвентном числе зубьев  $Y_t = 1,55$   
 $m_n$  - модуль в нормали сечения червяка,

$$m_n = m \cdot \cos \gamma = 3$$

$q_{Ft}$  – удельная окружная сила,

$$q_{Ft} = \frac{F_{t2}}{b_2} \cdot K_F, \text{ где } K_F \text{ является коэффициентом нагрузки, } K_F = K_H = 1$$

$$\sigma_F = 0,7 \cdot Y_F \cdot \frac{q_{Ft}}{m_n} = 0,7 \cdot 1,55 \cdot \frac{7931,5/18}{3} = 102,8 \text{ МПа}$$

Как мы видим, условие на изгиб выполняется, т.к  $\sigma_F \leq [\sigma]_{F2}$

## 2.7 Тепловой расчет передачи

В начале находим мощность на червяке:

$$T_1 = 9550 \cdot \frac{P_1}{n_1}, \text{ отсюда выражаем мощность на червяке}$$

$$P_1 = \frac{T_1 \cdot n_1}{9550} = \frac{50 \cdot 180}{9550} = 1,7 \text{ КВт}$$

Далее мы должны вычислить температуру для того чтобы червячная передача не перегревалась.

Условие работы редуктора без перегрева:

$$t_M = t_B + (1 - \eta) \cdot \frac{P_1}{K_T \cdot A} \leq [t]_M = 70 \dots 80^\circ \text{C}$$

Естественное охлаждение принимаем за  $K_T = 16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Вычисляем площадь охлаждения корпуса редуктора

$$A = 20a_\omega^2 = 20 \cdot 80^2 \cdot 10^{-6} = 0,128 \text{ м}^2$$

Берем температуру воздуха окружающей среды за  $t_B = 20^\circ \text{C}$ , отсюда получаем температуру масла

$$t_M = 20 + (1 - 0,91) \cdot \frac{1,7 \cdot 10^3}{16 \cdot 0,128} = 94^\circ \text{C}$$

Температура получилась выше допустимой, применяем водяное охлаждение  $K_T = 100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

$$t_M = 20 + (1 - 0,91) \cdot \frac{1,7 \cdot 10^3}{100 \cdot 0,128} = 39,4^\circ \text{C}$$

Данное значение подходит под допустимые нормы.

Проведем проверку валочервяка на жесткость

$$f = \frac{l^3 \sqrt{F_{r1}^2 + F_{t1}^2}}{48E \cdot I_{пр}}$$

Где  $l = d_{am2}$  - расстояние между опорами валочервяка,  $E=2 \cdot 10^5$  Мпа;

$$I_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot d_{f1}^4 (0,375 + 0,625 \frac{d_{a1}}{d_{f1}})}{64}$$

$$f = \frac{l^3 \sqrt{F_{r1}^2 + F_{t1}^2}}{48E \cdot I_{\text{пр}}} = \frac{137,3 \sqrt{4365^2 + 3570^2}}{48 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 5,86 \cdot 10^6} = 0,01376$$

$$[f] = (0,01 \dots 0,005)m = (0,01 \dots 0,005)3,15 = 0,315 \dots 0,01575$$

$$0,01376 \leq 0,01575$$

Значение получилось в допустимых пределах. Следует что расчеты проведены корректно.

### 3 Расчет червячной передачи в программе APM TRANS

Для проверки мы сделали расчеты в программе APM Trans. Для начала выберем тип передачи, в нашем случае это червячная. Далее выбираем тип расчета. Для проведения расчета достаточно указать параметры, перечисленные в диалоговом окне. На рисунке 6 показано окно для ввода основных параметров для расчета червячной передачи.

Параметр	Единица	Значение
Момент на выходе	[Н*м]	500.0
Обороты на выходе	[об/мин]	90.0
Передаточное число	[-]	10.0
Требуемый ресурс	[час]	6000.0
Материал венца колеса		BrA9ЖЗЛ
Алюминий в сплаве		<input type="checkbox"/>
Режим работы передачи		Задан пользователем
Тип червяка		Архимедов

Рисунок 6 – Основные параметры для расчета червячной передачи

Выбрав все необходимые данные нажимаем на “расчет” и после на “результаты”. Далее будут представлены результаты, полученные в данной программе.

На рисунке 7 показаны геометрические параметры червячной передачи, такие как межосевое расстояние, модуль, коэффициент диаметра червяка и т.д.

Геометрические параметры		Параметры работы	
$a_w$	80.0 [мм]	$P$	5.3 [кВт]
$m$	3.15 [мм]	$\eta$	0.889 [-]
$q$	10.0 [-]	Число зубьев колеса	40 [-]
$x$	0.397 [-]	Число заходов червяка	4 [-]

Рисунок 7 – Геометрические параметры

В таблице показаны значения сил зацепления червячной передачи.

Таблица значений сил зацепления передачи

	Червяк	Колесо	
$F_a$	7936,508	3570,405	Н
$F_r$	4365,709	2943,709	Н
$F_t$	3570,405	7936,508	Н
R	17,001	63,0	мм

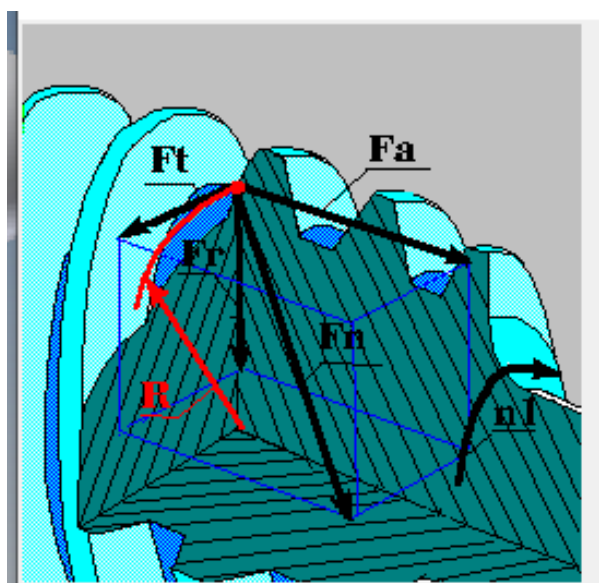


Рисунок 8 – Силы зацепления

Также программа дает результаты основных геометрических параметров червяка и червячного колеса.

- $\gamma$ .....21.801[град]
- $\gamma_w$ .....20.331[град]
- $d_{w1}$ .....34.001[мм]
- $d_{am2}$ .....137.951[мм]
- $h_1$ .....6.93[мм]
- $ha1$ .....3.15[мм]
- $p_{f1}$ .....0.945[мм]
- $r$ .....12.6[мм]

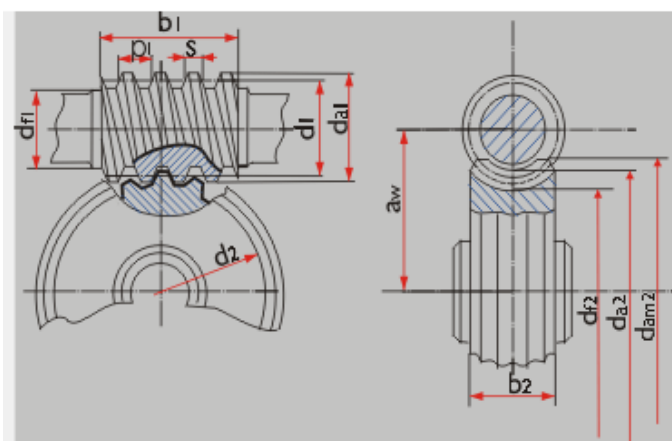


Рисунок 9 – Основные диаметры червяка и червячного колеса

Параметр	Червяк	Колесо
$d$ , мм	31,5	126,0
$d^a$ , мм	37,8	134,801
$d^f$ , мм	23,94	120,94
$b$ , мм	64,167	30,0

На рисунке выше представлены параметры контроля для червяка.

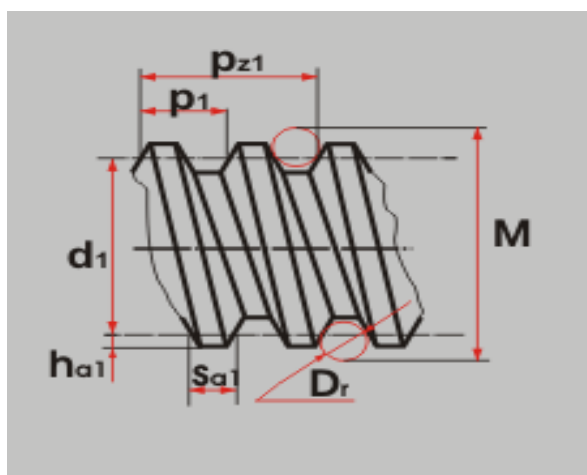


Рисунок 10 – Параметры контроля

Положение профилей:

$p$ .....9,896 мм

$p_z$ .....39,584 мм

По хорде:

$S_a$ .....4,594 мм

$h_a$ .....3,173 мм

По роликам:

$D_r$ .....5,176 мм

$M$ .....39,187 мм

$\varepsilon_s$ .....1,654

#### 4 Расчет максимального напряжения и коэффициента запаса на прочность червяка при помощи САЕ-систем

После выполнения аналитических расчетов червячной передачи нужно провести расчет червяка на прочность в программе КОМПАС 3D с использованием инженерного модуля АРМ FEM предназначенного для прочностного расчета. Это выполняется для подтверждения правильности наших расчетов.

Далее будет представлен порядок для расчета в данной программе.

По полученным данным создаем 3D модель червяка в программе КОМПАС.

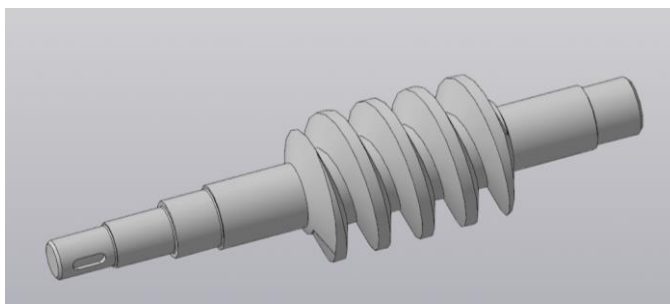


Рисунок 11 – 3D модель червяка

После создания модели применяем команду “подготовка модели”, далее устанавливаем закрепления в местах, где будут установлены подшипники. Затем прикладываем нагрузку на червяк. Номинальное усилие прессы  $P=630$  кН является максимальным усилием действующим на червяк. На рисунке 12 ниже показано как прикладываются силы и опоры.

Следующим шагом является задание материалов червяка. Во вкладке «Свойства» выбираем «Материалы» и из библиотеки загружаем сталь 40Х.

После выбора материала необходимо сформировать сетку из конечных элементов из четырех узловых тетраэдров с максимальной стороной элемента 5 мм. Для выполнения этого нужно перейти во вкладку «Разбиение и расчет» и там выбрать «Генерация КЭ сетки». Затем ждем на кнопку «сформировать КЭ сетку». Формируется сетка, состоящая из 32449 элементов и 9125 узлов. Ниже представлена КЭ сетка с глубиной просмотра.



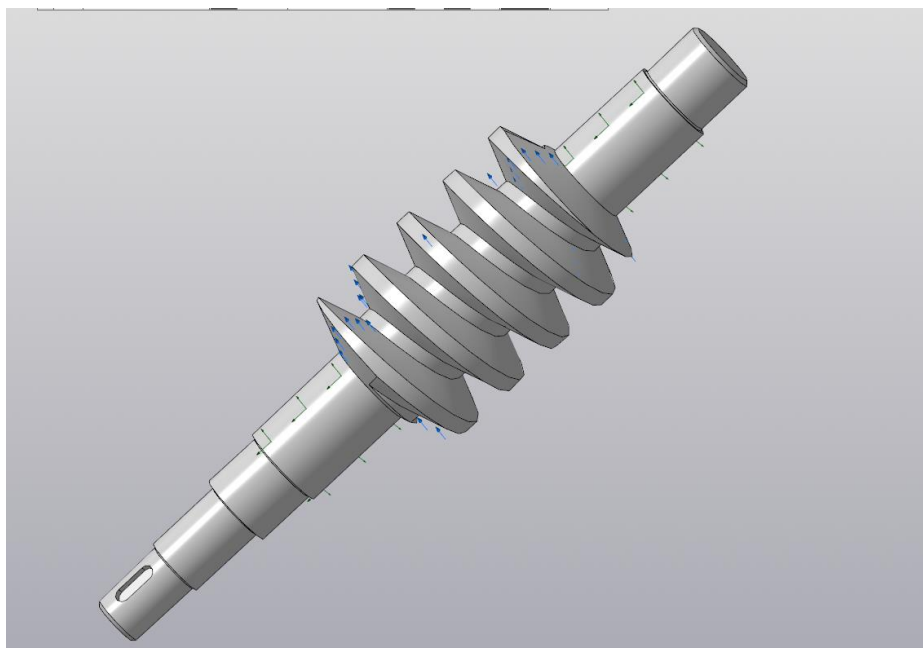


Рисунок 12 – Модель червяка приложенными нагрузками и закреплениями

После получения КЭ сетки производим линейный статический расчет червяка. Для этого во вкладке «Разбиение и расчет» выбираем «Расчет». После того как программа завершит расчеты переходим во вкладку «Результаты» и выбираем «Карта результатов». Там выбираем необходимые нам карты результатов для напряжений и коэффициента запаса прочности. Результаты показаны на рисунках 13-15 ниже.

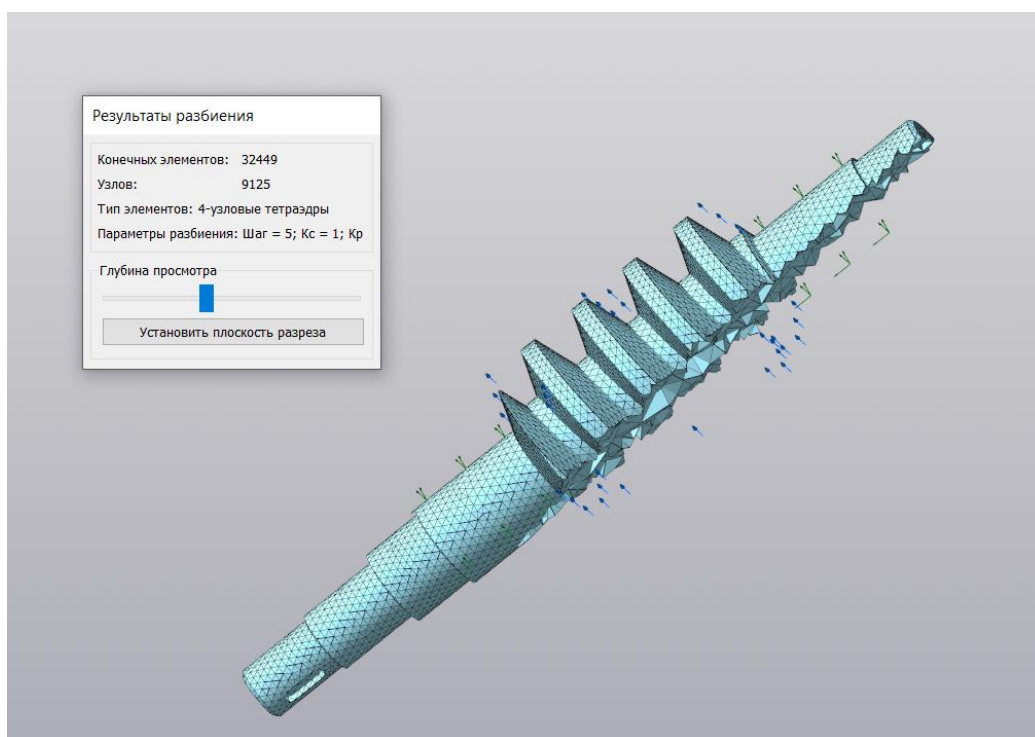


Рисунок 13– Генерация КЭ сетки

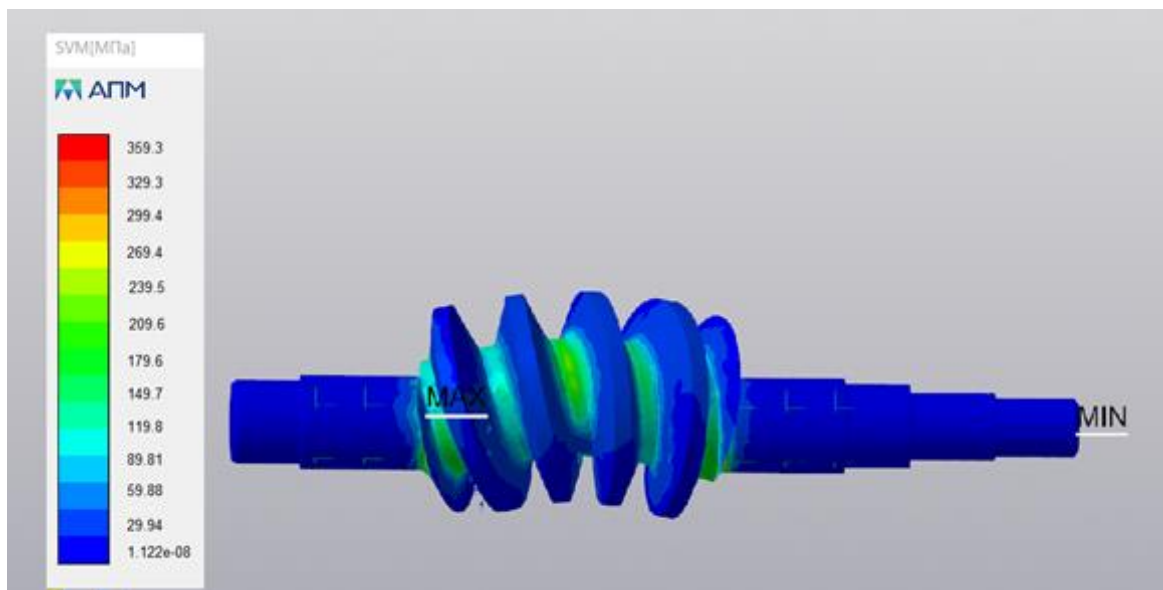


Рисунок 14– Результаты расчета напряжений

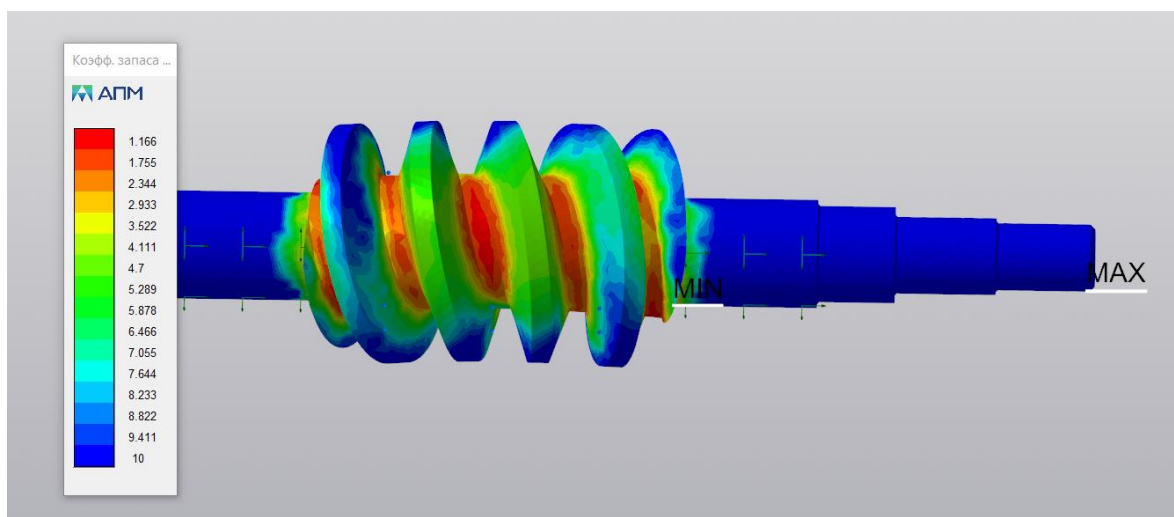


Рисунок 15- Результаты расчета коэффициента запаса

Из расчета видно, что максимальное напряжение возникает в опасном сечении в месте перехода с размера  $d_A$  на  $d_0$  и оно равно 359,3 МПа, что не превышает допускаемое напряжение для материала вала, которое равно 377,3 МПа.

Минимальное значение коэффициента запаса  $n=1,166$ , что не превышает допустимое значение, которое равно для универсальных прессов 1,3.

Из полученных расчетов можно сделать вывод что расчеты подтверждают достоверность проектировочного расчета червяка.

Для выявления различий был проведен сравнительный анализ, значения, которого были получены аналитически и при помощи программы КОМПАС- 3D

с использованием инженерного модуля APM Fem различны, но допустимое отклонение может быть в пределах 1-10%.

Значение напряжения червяка, полученное в программе на 7,7% больше, чем результат полученный аналитически.

$$\frac{331 - 359}{359} \cdot 100\% = -7,7\%$$

Результаты могут различаться из-за следующих факторов:

Разные методы расчета параметров червяка;

Погрешности, которые могли возникнуть при аналитическом расчете;

Стороны КЭ сетки оказались слишком большими, ведь чем меньше сторона КЭ сетки, тем точнее будет произведен расчет.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В проведенной работе, зная крутящие моменты и частоты вращения, спроектировали червячную передачу, выдерживающую усилие в 630 кН. Для написания данной дипломной работы использовались программы «КОМПАС 3D», «APM WinMachine». Мною был произведен расчет червячной передачи. Также проверили такой же расчет в программе «APM WinMachine». После проверили расчеты по прочности основного механизма регулирования закрытой высоты пресса (червяк), рассчитав наибольшее напряжение для данной детали и коэффициент запаса на прочность. Также провели анализ почему результаты, полученные аналитически и при помощи программы, так разнятся.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бочаров Ю. А. «Кузнечно-штамповочное оборудование» 2008 год. 3с
- 2 Залескин В.И. Оборудование кузнечно-прессовых цехов. М.: Высшая школа, 1993. 630 с
- 3 Банкетов А.Н. и др. «Кузнечно-штамповочное оборудование» 1982 год 6с
- 4 Персональный сайт преподавателя Гончарова О.Г. // [http://k-a-t.ru/detali\\_mashin/23-dm\\_chervyach1/](http://k-a-t.ru/detali_mashin/23-dm_chervyach1/)
- 5 Сайт об электрических сетях, высоковольтном оборудовании // <https://leg.co.ua/info/elektricheskie-mashiny/tehnologiya-i-oborudovanie-proizvodstva-elektricheskikh-mashin-19.html>
- 6 С. А. Чернавский и др.— «Курсовое проектирование деталей машин 2е издание» 1988 год 47с, 319с
- 7 М.В. Аввакумов, А.Б. Коновалов «Расчет червячных передач методическое указание» 2012 год

# Приложение А

