МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология машиностроительного производства»

Сабитов Рахматулла Талипжанович

«CAD/CAE проектирование кузнечно-штамповочного оборудования»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071200 – Машиностроение

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология машиностроительного производства»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
СМиТМП, PhD
_____ Арымбеков Б.С.
«29» 04 _____ 2019г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «CAD/CAE проектирование кузнечно-штамповочного оборудования: 5В071200 - Машиностроение

Выполнил Сабитов Р.Т.

Рецензент
д-ф PhD
Старший преподаватель КазНАУ
Удербаева А.Е.
_____
«29» 04 2019г.

Научный руководитель
канд. техн. наук, сеньор лектор Исаметова М.Е.
_____
«29» 04 2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология машиностроительного производства»

5В071200 – Машиностроение

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
СМиТМП, PhD, ассоц.проф.
_____ Арымбеков Б.С.
«06» ноября 2018г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Сабитову Рахматулле Талипжановичу
Тема: CAD/CAE проектирование кузнечно-штамповочного оборудования
приказом Ректора Университета № 1252-п от "06" ноября 2018г.
Срок сдачи законченной работы *"2" мая 2019г.*
Исходные данные к дипломной работе: CAD/CAE проектирование кузнечно-штамповочного оборудования
Краткое содержание дипломной работы:
а) Технические характеристикаи пресса КД2126
б) Кинематический расчет
в) Стаический расчет
г) Расчет эксцентрикового вала и шатуна в программе КОМПАС-3D
Перечень графического материала: Кинематическая схема – 1 лист формата А4, Чертеж эксцентрикового вала – 1 лист формата А4, графики зависимостей - 2 листа формата А4,*представлены* 17 *слайдов презентации работы*
Рекомендуемая основная литература: *из 3 наименований*

а) Щеглов В.Ф., Максимов Л.Ю., Линц В.П. Кузнечно-прессовые машины. - М.: Машиностроение, 1979. – 304 с.

б) Кузнечно-штамповочное оборудование. А.Н. Банкетов, Ю.А. Бочаров, Н.С. Добринский и др.; под ред. А.Н. Банкетова, Е.Н. Ланского.-2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982-576 с

в) Орлова Е.П. Оборудование цехов обработки материалов давлением. Кривошипные прессы. Учебное пособие. – Алматы, 2018, 91 с.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
Поиск информации Обзор литературы Общая часть	08.01.19 - 11.02.19	Выполнено
Расчётная часть Графическая часть	11.02.19 – 19.04.19	Выполнено
Оформление по СТП Нормоконтроль	22.04.19 – 23.04.19	Выполнено

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу
с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Карпеков Р.К., лектор	29.04.2019	

Научный руководитель _____ Исаметова М. Е.

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Сабитов Р. Т.

Дата " " ноября 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы «CAD/CAE проектирование кузнечно-штамповочного оборудования».

Целью данной работы является моделирование кривошипного пресса модели КД2126 с использование компьютерных программ.

Основная часть данных по прессу КД2126 находится в техническом паспорте.

Для выполнения данной работы необходимо произвести расчеты и спроектировать основные элементы конструкции. Выбрать наиболее подходящие материалы для составляющих элементов.

Чертежи и 3D-модели составляющих частей были сделаны в программе КОМПАС-3D.

Проведенные расчёты также находятся в данной дипломной работе. Графики зависимостей и расчетные данные используемые в данной работе находятся в приложении.

Дипломная работа была выполнена на двадцати шести страницах, не включая приложение и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы.

По главам находящихся в содержании, постепенно раскрывается тема дипломной работы и ее задача.

В заключении можно наблюдать результаты полученные при работе с компьютерной программой КОМПАС-3D и вычислительной утилиты APM FEM: Прочностной анализ.

ANNOTATION

The theme of the thesis "CAD/CAE design of forging and stamping equipment."

The aim of this work is to simulate the crank press model CD2126 using computer programs.

Most of the data on the press CD2126 is in the datasheet.

To perform this work, it is necessary to make calculations and design the main structural elements. Select the most suitable materials for the constituent elements.

Drawings and 3D-models of the constituent parts were made in the program COMPASS-3D.

The calculations are also in this thesis. Dependency graphs and calculated data used in this work are in the application.

The thesis was completed on twenty-six pages, not including the Appendix and consists of an introduction, five chapters, conclusion and bibliography.

According to the chapters in the content, gradually reveals the theme of the thesis and its task.

In conclusion, we can observe the results obtained when working with the computer program COMPASS-3D and computer utility APM FEM: Strength analysis.

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыстың тақырыбы "CAD/CAE ұста-қалыптау жабдығын жобалау".

Бұл жұмыстың мақсаты компьютерлік бағдарламаларды қолдану КД2126 моделінің қисық типті баспақты моделдеу болып табылады.

Бұл жұмысты орындау үшін есептеу және конструкцияның негізгі элементтерін жобалау қажет. Элементтерді құрайтын ең қолайлы материалдарды таңдау.

Құрамдас бөліктердің сызбалары мен 3D-модельдері КОМПАС-3D бағдарламасында жасалды.

Жүргізілген есептеулер осы дипломдық жұмыста да болады. Осы жұмыста пайдаланылатын тәуелділік графиктері мен есептік деректер қосымшада болады.

Дипломдық жұмыс қосымшаны қоспағанда, жиырма алты бетте орындалған және кіріспеден, бес тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады.

Мазмұнындағы тараулар бойынша дипломдық жұмыстың тақырыбы және оның міндеттері біртіндеп ашылады.

Қорытындыда КОМПАС-3D компьютерлік бағдарламасымен және APM FEM есептеу утилитасымен жұмыс істеу кезінде алынған нәтижелерді бақылауға болады: беріктік талдау.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
9
1 Техническая характеристика однокривошипного пресса простого действия модели КД2126
10
2 Порядок проектирования главных валов
15
3 Статический расчет кривошипного механизма
18
4 Расчет кривошипного вала на прочность
21
5 Расчет кривошипного вала и шатуна в программе КОМПАС
25
Заключение
32
Список использованной литературы
33
Приложение A
Приложение B
Приложение C
Приложение D
Приложение E
Приложение F

ВВЕДЕНИЕ

Простейшая обработка и ковка металла была известна миру еще с древних времен. Прародителем прессового оборудования являются молот и наковальня. С развитием технического прогресса, ручное изготовление стало непосильным трудом. Постепенно стали появляться молоты, с рычажным применением, приводимые в движение за счет силы воды, конного привода и использование удара от падающего молота.

Дальнейшее развитие технологии ковки обработки и штамповки имеет прямой контакт с потребностями общества, и стремительно развивающимся техническим прогрессом, а так же экономическими возможностями.

Революция в сфере промышленности сделала огромный шаг в развитии металлообработки, произошло усовершенствование и модернизация конструкций, появлялись все новые и новые виды. К нынешнему времени появились прессы, работающие от электродвигателя которые, охватывают различных отрасли промышленности.

В настоящее время в кузнечно-штамповочном производстве для самых различных операций (холодной и горячей объемной штамповки, вытяжки, рельефной формовки, гибки, чеканки, разделительных операций) широко применяют кривошипные машины. Кривошипной машиной (прессом) называют кузнечнопрессовую машину, в которой в качестве входного звена исполнительного механизма, преобразующего вращательное движение в заданное (чаще всего в прямолинейное возвратно-поступательное) движение рабочего органа (ползуна), используются кривошипный, коленчатый или эксцентриковый валы, имеющие с ползуном жесткую кинематическую связь через рычажные механизмы [1].

Сами кривошипные машины имеют большой спектр разнообразных величин и характеристик, при этом совершено отличаясь друг от друга по конкретным параметрам и характеристикам

Данная работа будет посвящена компьютерному моделированию однокривошипного пресса простого действия модели КД2126 и будет включать кинематическую схему пресса, его технические данные, кинематический расчет и расчет на прочность основных органов механизма.

1 Техническая характеристика однокривошипного пресса простого действия модели КД2126

Техническая характеристика данного механизма состоит из технических данных однокривошипного пресса простого действия модели КД2126, кинематической схемы механизма, а также из кинематического расчета.

Технические данные однокривошипного пресса простого действия модели КД2126 показаны следующими основными данными:

1 Номинальное усилие – 400 кН;

2 Число ходов – 160 ходов в минуту;

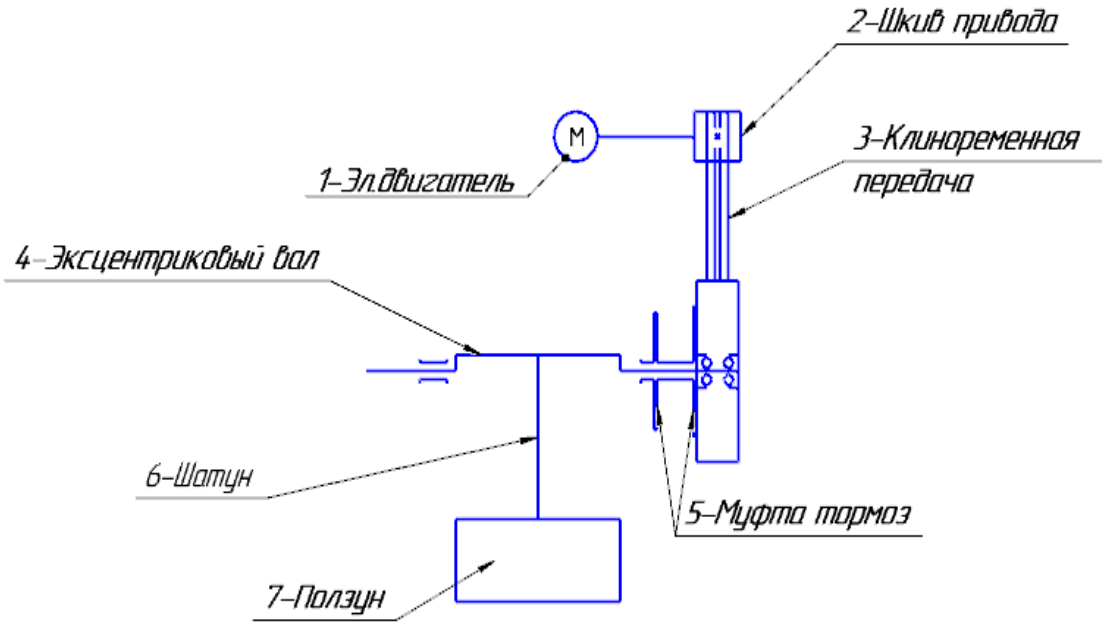
3 Ход ползуна – 90 мм;

4 Размеры стола – 400ммх600мм

5 Электродвигатель главного привода – 4,7 кВт

6 Масса пресса – 3170 кг [5].

Кинематическая схема однокривошипного пресса простого действия модели КД2126 показана на рисунке 1



1 - электрический двигатель; 2 – шкив привода; 3 - клиноременная передача; 4 –эксцентриковый вал; 5 – муфта-тормоз; 6 - шатун; 7 - ползун основной

Рисунок 1 – Кинематическая схема однокривошипного пресса простого действия модели КД2126

Электрический двигатель является устройством, предназначенным для совершения механической работы с помощью электроэнергии, которая в дальнейшем преобразуется во вращательное движение.

Клиноременная передачей является специальный привод с ремнем у которого угол профиля равен 40 градусам.

Эксцентриковый вал является составным элементом конструкции данного пресса, который являются органом передачи вращательного движения от электродвигателя к другим частям конструкции и получает вращательное движение от электродвигателя.

Муфта-тормоз предназначена для соединения вращающихся частей конструкции с остальными частями этой же конструкции при непрерывной работе электродвигателя

Шатуном является элемент кривошипно-шатунного механизма, который характеризуется тем, что он преобразует вращение вала в возвратно-поступательно движение. Также шатун соединяет станину и эксцентриковый вал.

Станиной деталь кривошипно-рычажного механизма, как известно служащая для получения поступательного движения, а так же станина отвечает за выполнение различного рода операций в кривошипных прессах [1].

Кинематический расчет характеризуется нахождением основных параметров, а также их зависимости от главного угла поворота вала, такие как перемещение S, скорость V и ускорение ползуна j. Кривошипно-ползунный механизм показан на рисунке 2 и показан данными: R – радиус кривошипа, мм; L – длина шатуна, мм; α – угол поворота кривошипа, градус [2].

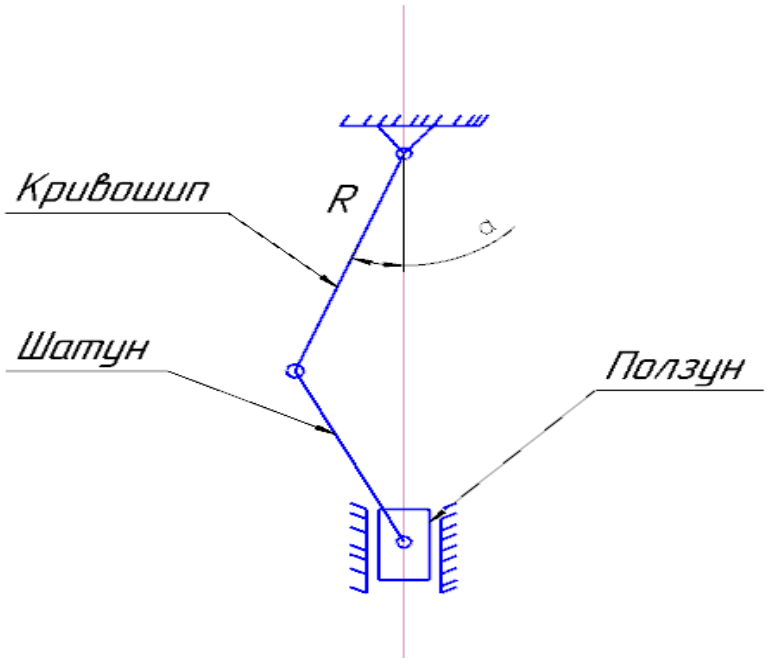


Рисунок 2 – Кривошипно-ползунный механизм

В первую очередь переходим к нахождению величины перемещения самого шатуна S в зависимости от угла поворота вала с промежутком в 5 градусов, которое находится по формуле [2].

$$S=R\cdot [1-\cos +\lambda/4\cdot(1-\cos 2\alpha)]$$

где R – радиус ползуна; однако в свою очередь R =0,5·H, мм;

H - максимальный ход ползуна, мм;

α – угол поворота вала;

λ – коэффициент длины ползуна, выбираем значение λ=0,8 (0,2÷1,2);

S – перемещение шатуна.

Значения перемещения, скорости и ускорения ползуна рассчитываются, при этом принимая угол α от 0º до 360º с шагом в 5º. Расчет выполнен в приложении Microsoft Excel 2007.

Согласно проведенным расчетам, подготовлен график зависимости перемещения шатуна S от главного угла поворота кривошипа, показанный на рисунке 3:

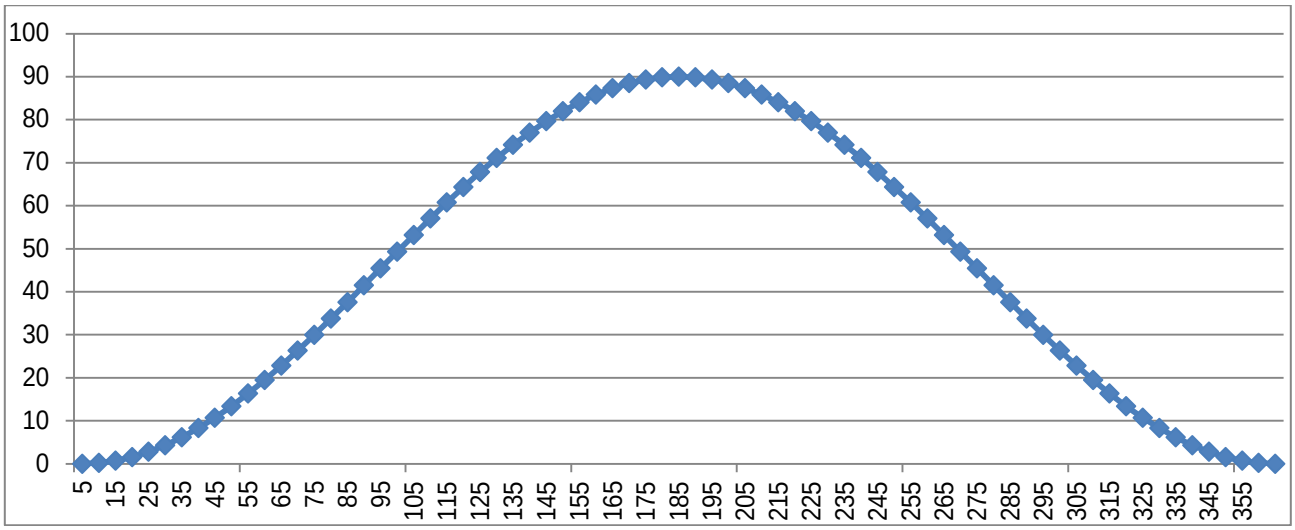


Рисунок 3 – График зависимости перемещения S от главного угла поворота вала

Далее находим скорость перемещения ползуна V которая находится по формуле:

$$V= \omega\cdot R\left(\sin\alpha+\frac{\lambda}{2}\cdot\sin 2\alpha\right)$$

где V – скорость, мм/с;

α – угол поворота вала (кривошипа), градусы;

R – радиус ползуна, мм;

λ – коэффициент длины ползуна, выбираем значение λ=0,8(0,2÷1,2);

ω – угловая скорость(об/мин), которая в свою очередь находится по следующей формуле:

$$\omega = (\pi \cdot n)/30$$

где n – число ходов, указанное в технических данных пресс-автомата. Произведя расчеты, по полученным данным строим график зависимости скорости V от главного угла поворота кривошипа (рисунок 4):

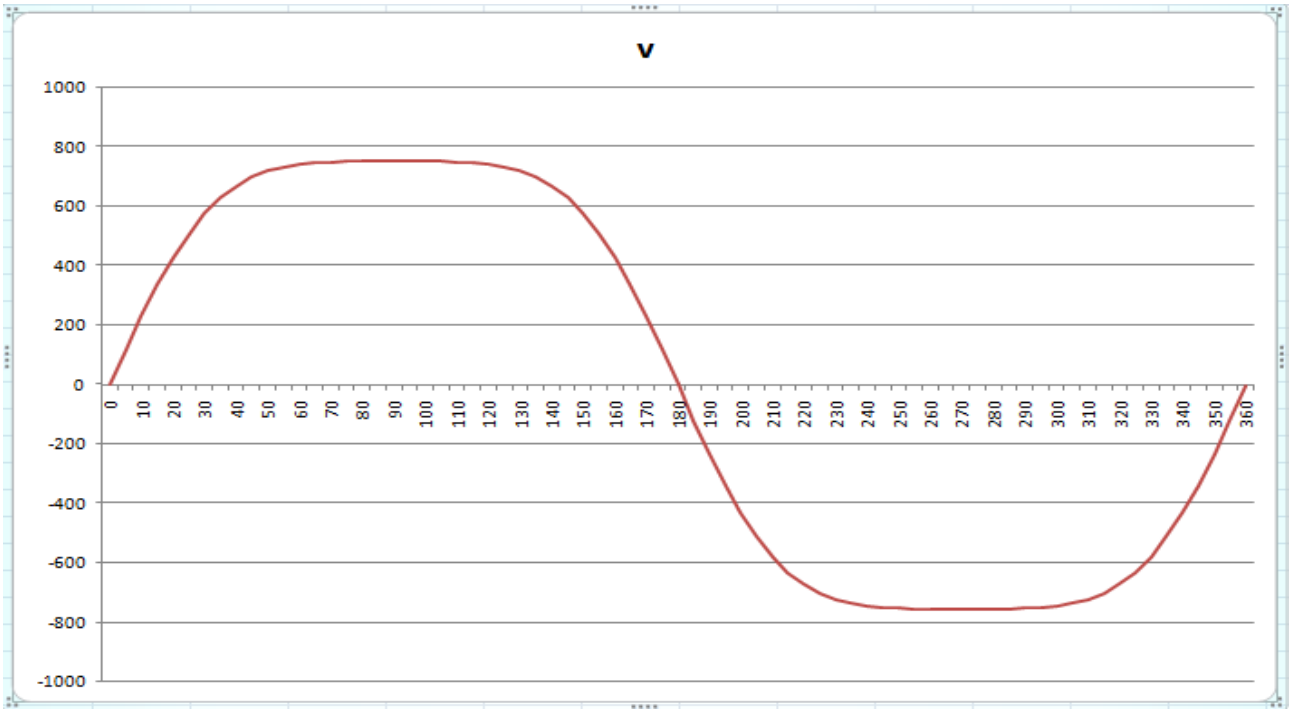


Рисунок 4 – График изменения скорости ползуна от угла поворота кривошипа

После нахождения скорости перемещения ползуна, находим величину ускорения ползуна j которая зависит от главного угла кривошипа с промежутком в 5 градусов, и которая находится по формуле [2].

$$j=-\omega^2 \cdot R \cdot (\cos\alpha+\lambda \cdot \cos 2\alpha)$$

где j – ускорение ползуна, мм/с^2;

α - угол поворота кривошипа, градусы;

R – радиус ползуна, мм;

ω – угловая скорость(об/мин).

λ – коэффициент длины ползуна, значение выбираем из таблицы 1, подставляем значение λ=0,12;

Таблица 1 - Значения коэффициента λ для прессов разного технологического назначения [1]

Тип кривошипного пресса	λ
Для листовой штамповки	
Универсальные простого действия с регулируемым ходом:	0,065÷0,085
с постоянным нормальным ходом	0,005÷0,125
с постоянным увеличенным ходом	0,145÷0,175
Вытяжные двойного действия	0,190÷0,270
С плунжерной подвеской ползуна:	
универсальные простого действия	0,3÷0,35
вытяжные двойного действия	0,42÷0,49
Автоматы	0,06÷0,25
Для объемной штамповки	
Горячештамповочные (КГШП)	0,14÷0,175
Горизонтально-ковочные машины (ГКМ)	0,27÷0,33
Обрезные прессы	0,1÷0,12
Автоматы	0,12÷0,2

Далее, подготовлен график зависимости скорости j от главного угла кривошипа, показанный на рисунке 5:

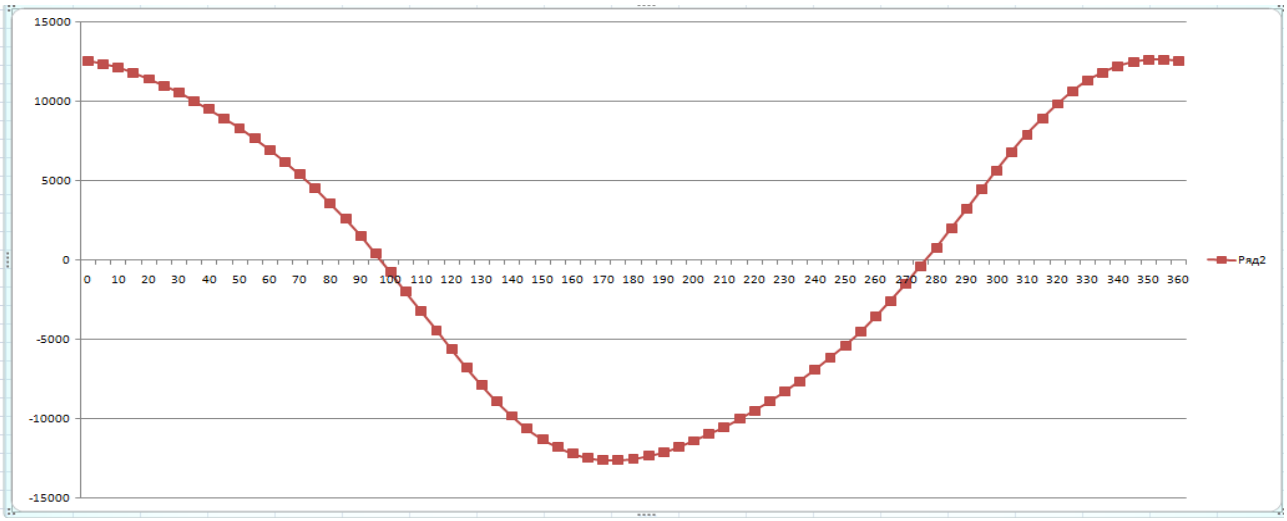


Рисунок 5 – График ускорения ползуна

Полученные данные и расчеты показаны в приложении А. Графики зависимости находятся в приложении

2 Порядок проектирования главных валов

Исходными данными для проектирования валов являются указанные в задании на проектирование тип самой кривошипной машины и ее номинальное усилие, кинематическая схема, а также соответствующие стандарту параметров технические характеристики

Проектирование валов осуществляется в данной последовательности:

1. По таблице 3 определяют номинальный угол поворота вала α_H.

2. По типу кривошипной машины (таблица 2) выбирают конструктивное исполнение вала с учетом его характеристик и параметров.

3. По кинематической схеме определяют его опасные сечения и расчетную схему.

4. На основании полученных статистических данных определяют диаметры опорных шеек вала d_0 и диаметры в опасных сечениях (таблица 4), все полученные по расчетам размеры округляют.

5. По выбранной нами расчетной схеме вала определяют остальные его геометрические параметры основываясь на базе кинематической схемы машины, проработки ее конструкции и рекомендаций приведенных в таблице 4.

6. Выбирают материал из которого будет изготовлен вал. Для эксцентриковых валов ответственных машин применяют улучшенные стали марок 40Х ($\sigma_{-1и}$ = 400 МПа), 40ХУ ($\sigma_{-1и}$ = 450÷500 МПа) [1].

Свойства стали 40Х:

Удельный вес: 7820 кг/м^3

Предел прочности: $\sigma_в$=980 МПа[8].

Температура ковки, °С: начала 1250, конца 800. Сечения до 350 мм охлаждаются на воздухе

7. По типу кривошипной машины выбирают коэффициент эквивалентной нагрузки (таблица 5) и коэффициент запаса прочности n (таблица 6), предварительно определив по коэффициенту использования числа ходов p (таблица 7) и номинальному числу ходов ползуна определяем число одиночных ходов ползуна в минуту:

$$n_{од} = p \cdot n_H \text{ [1].}$$

Все вышеперечисленные таблицы находятся в приложении D.

9. Проверяют основной вал на жесткость. Жесткость кривошипных машин оказывает сильное влияние на их эксплуатационные качества такие как: стойкость штампов и матриц, энергетические показатели, получаемая точность деталей. Показатель линейной жесткости пресса - коэффициент жесткости (МН/мм) Определяется по данной формуле:

$$C_п = \Delta P / y_п,$$

где ΔP - приращение усилия,

$y_п$ - соответствующее приращение закрытой высоты пресса (приращение упругой деформации пресса).

Жесткость пресса устанавливается по определяемой экспериментально податливости или принимается по рекомендациям, разработанным Станкином и ЭНИКМАШем.

Для основных кривошипных машин

$$C_п = k\sqrt{P_H}\ .$$

Значения коэффициента пропорциональности К приведены в таблице 8. Упругая деформация зависит от конструкционного строения вала (коленчатый, эксцентриковый и т.д.), от его расположения (продольное, поперечное) и составляет 20-25% от общей деформации пресса. Упругую деформацию вала можно определить, зная его размеры, по нижеприведенной формуле [2].

Деформация эксцентриковых валов

$$y_b = \frac{P_D}{E}\left(\frac{l_0^3}{19{,}2d_0^4} + \frac{l_0 l_k (l_k + l_0)}{3{,}2d_0^4} + l_k\frac{(2l_k + 1{,}5l_0)}{4{,}8d_A^4} + \frac{l_0}{0{,}57d_0^2} + \frac{l_k}{0{,}29d_A^2}\right).[4].$$

На основании статистических данных определяют диаметры опорных шеек вала d_0. Диаметр опорной шейки для эксцентриковых валов находится по следующей формуле:

$$d_0 = 103\sqrt{P_H + 1}$$
$$d_0 = 103\sqrt{0.4 + 1} = 121мм$$

Примечанием является то, что значение P_H(номинальное усилие пресса) подставляют в МН, а d_0, d_{01} получают в мм [3].

Для выбранной расчетной схемы вала определяют остальные его геометрические размеры на базе кинематической схемы машины, проработки ее конструкции и рекомендаций таблицы [2].

Переходим к нахождению диаметра наружной шейки:

$$dA = 1{,}6 \cdot d_0$$
$$dA = 1{,}6 \cdot 121 = 193мм$$

Диаметр втулки маховика:

$$d_1 = 0{,}9 \cdot d_0$$
$$d_1 = 0{,}9 \cdot 121 = 109\text{мм}$$

Длина опорной шейки находится по следующей формуле:

$$l_0 = 1{,}9 \cdot d_0$$
$$l_0 = 1{,}9 \cdot 121 = 229$$

Длина шатунной шейки (эксцентриковой втулки) находится по следующей формуле:

$$l_{\text{ш}} = 1 \cdot d_0$$
$$l_{\text{ш}} = 1 \cdot 121 = 121\text{мм}$$

Радиус галтели находится по следующей формуле:

$$r = 0{,}11 \cdot d_0$$
$$r = 0{,}11 \cdot 121 = 13\text{мм}$$

Выбирают материал главного вала, учитывая, что для валов универсальных машин обычно используется сталь 45 нормализованная и улучшенная, а для эксцентриковых валов ответственных машин применяют улучшенные стали марок 40Х и 40ХН [2].

3 Статический расчет кривошипного механизма

Для проведения статического расчета сил, действующих на отдельные звенья механизмов, необходимо учитывать действия всех сил трения. При исключении силы трения при расчетах могут возникнуть значительные погрешности, а в некоторых случаях и вовсе к невозможности произвести расчеты. Связанно это с тем, что диаметры шарнирных осей по размерам равны звеньям

Рассмотрим данный механизм с заданными размерами в положении кривошипа при угле α. Принимаем усилие деформации P_D, действующее по ползуну и определяемое величиной номинального усилия P_H при расчете пресса.

Для определения крутящего момента на коленчатом валу будет использоваться уравнение элементарных работ [1].

$$M_k^{\alpha} \cdot d\alpha = P_D \cdot ds \text{ или } M_k^{\alpha} = P_D \cdot \frac{ds}{d\alpha}$$

Произведя соответствующие математические преобразования, получим формулу для определения момента на кривошипном валу [3].

$$M_k = P_D \cdot m_k$$

где m_k - приведенное плечо силы, которое определяется по формуле:

$$m_k = m_k^{\alpha} + m_k^{f}$$

где m_k^{α} - приведенное плечо, которое зависит от положения кривошипа, при положении угла α, значения которого будем брать от 0º до 90º с шагом в 5º, и определяется по формуле [2].

$$m_k^{\alpha} = R \cdot \left(\sin\alpha + \frac{\lambda}{2}\sin\alpha + k \cdot \lambda \cdot \cos\alpha \right)$$

где λ – коэффициент длины ползуна, выбираем значение λ=0,8 (0,2÷1,2);

α – угол поворота вала (кривошипа);

k - коэффициент пропорциональности при определении коэффициента жесткости прессов k=0.5

m_k^f - плечо трения, определяется коэффициентом трения размерами шарниров и принимается постоянным, определяется по формуле.

$$m_k^f = f \cdot [(1+\lambda) \cdot r_{A+} \lambda \cdot r_B + r_0]$$

Получаем, что:

$$m_k^f = 0{,}1 \cdot [(1 + 0{,}8) \cdot 96{,}5 + 0{,}8 \cdot 60{,}5 + 60{,}5] = 28{,}26\text{мм}$$

где f - коэффициент трения в подшипнике, в данном случае f= 0,1;

r_A - радиус эксцентриковой головки шатуна, мм;

r_B - радиус малой головки шатуна, мм;

r_0 - радиус опорных шеек вала, мм [1].

По полученным значениям строим графики зависимости плеча m_k^α от угла поворота вала с шагом в 5 градусов в промежутке от 0 до 90 градусов. Данная зависимость указана на рисунке 6.

На основе данных, полученных в графике зависимости от угла поворота основного вала, находим зависимость m_k от угла поворота главного вала. Зависимость показана на рисунке 7.

Где m_k^α - идеальное плечо, зависящее от положения кривошипа.

m_k - плечо силы, значение которой будет зависеть от угла поворота вала [2].

Полученные данные расчетов приведенного плеча и плеча силы кривошипно-ползунного механизма указаны в приложении С.

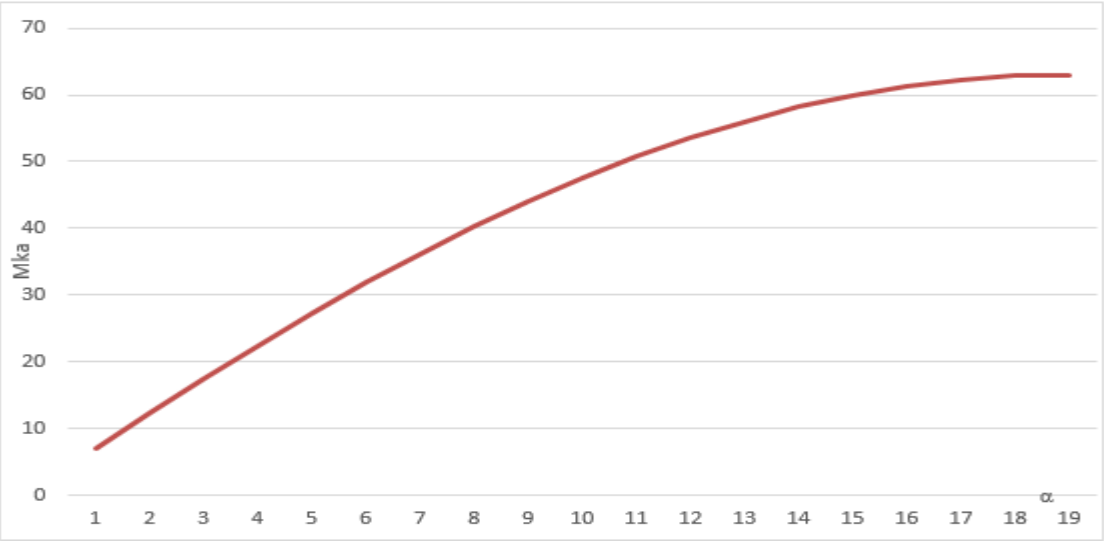


Рисунок 6 – График зависимости приведенного идеального плеча m_k^α от главного угла поворота главного вала(кривошипа)

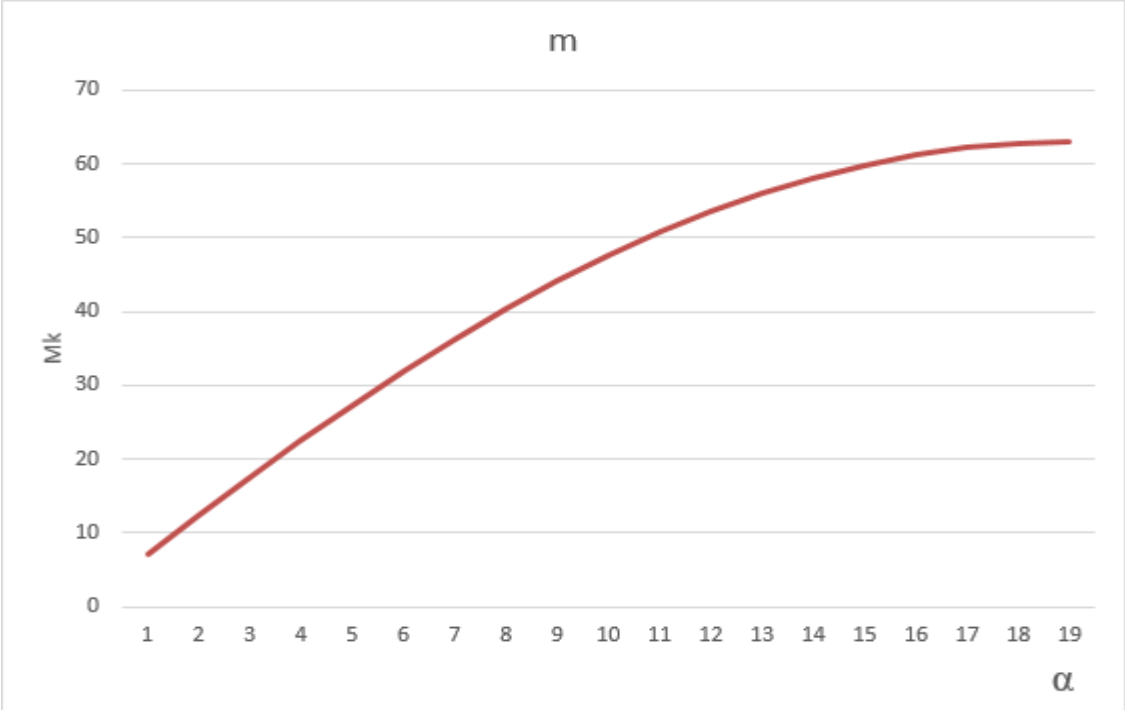


Рисунок 7 – График зависимости приведенного плеча силы m_k от главного угла поворота главного вала(кривошипа)

4 Расчет кривошипного вала на прочность

По номинальному усилию пресса на основании эмпирических соотношений определяем размеры вала. Полученные размеры округляют и выбирают материал вала. Схема кривошипного вала с полученными размерами приведена на рисунке 10. Для универсальных кривошипных прессов применяют сталь 45 нормализованную.

Для главного эксцентрикового вала будем использовать улучшенную сталь марки 40Х. Предел выносливости при изгибе образца при закон переменном цикле, для стали 40Х - σ_{-1u} = 400 МПа.

Определим эквивалентные параметры Φ_σ и Φ_τ по графикам, предоставленным на рисунке 8. Φ_σ = 2,3; Φ_τ = 7,5 [6].

Определим коэффициент эквивалентной нагрузки и коэффициент запаса прочности.

В зависимости от одиночных ходов ползуна выбираем $k_э$ по таблице 5 в приложении D.

При числе одиночных ходов равной 50х/мин $k_э$ (коэффициент эквивалентной нагрузки) $k_э$ = 0,8; [6].

Определяем коэффициент запаса прочности n в таблице 6 в приложении D.

Коэффициент запаса прочности n, для универсальных прессов равен 1,3-1,4. Принимаем значение n = 1,3 [6].

Графики для определения Φ_σ и Φ_τ.

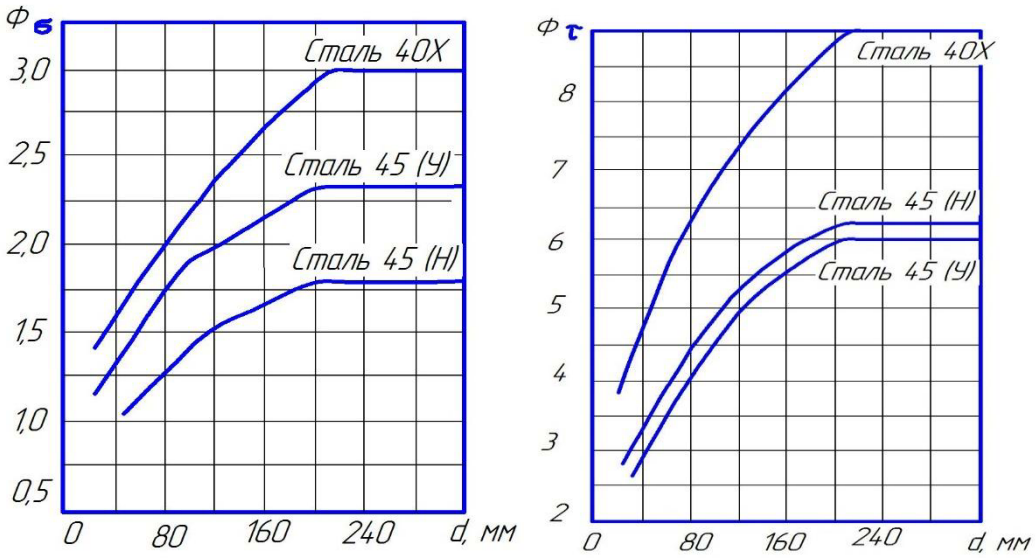


Рисунок 8 - Значения Φ_σ и Φ_τ для главных валов кривошипных машин

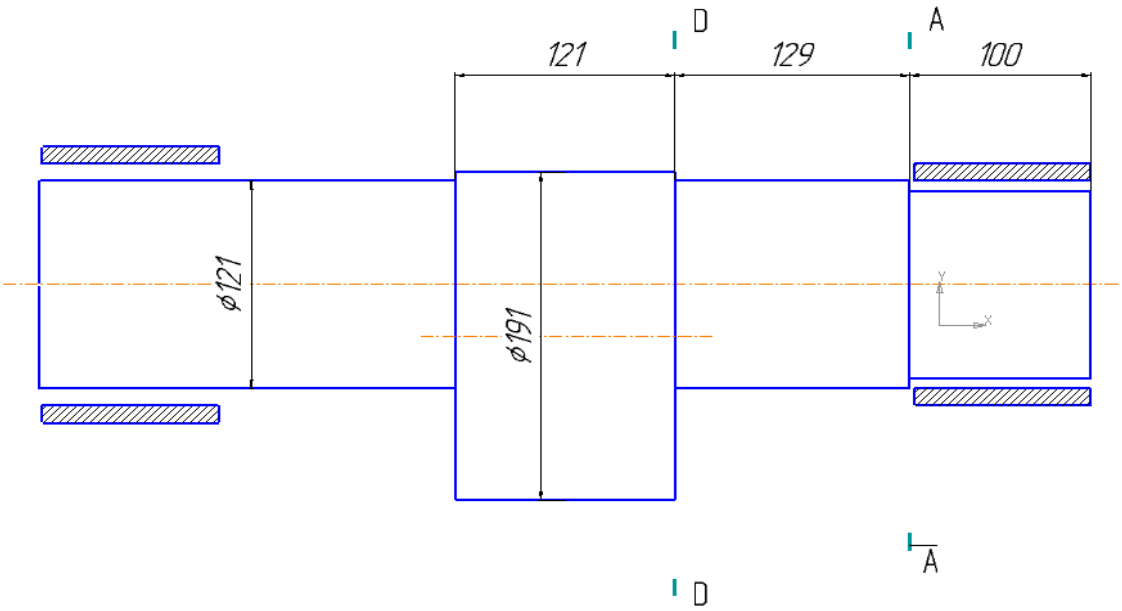


Рисунок 9 - Схема эксцентрикового вала с полученными размерами

Данный вал представляется как упругое тело, нагруженное по типу балки на двух опорах, схема которой изображена на рисунке 10 [2].

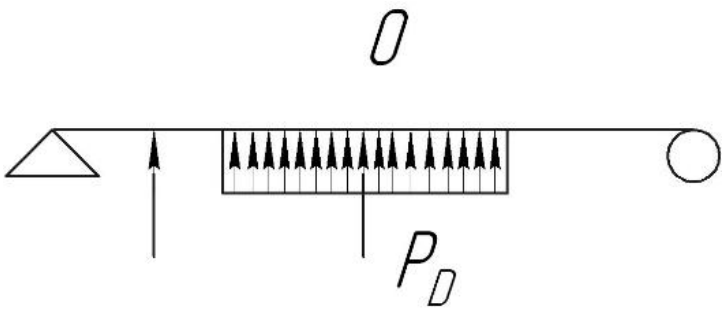


Рисунок 10 - Схема нагружения вала

При данной конструкции эксцентрикового вала идет проверка определенных сечений. Таким образом, для коленчатого вала, изображенного на рисунке 9 расчетными, будут сечения АА и DD.

Проверка сечения ВВ проводится по формуле:

$$P_D = \frac{0{,}1 \cdot d_0 \cdot \sigma_{-1u}}{n \cdot k_Э \cdot U_u \sqrt{\Phi_\sigma^B}}$$

где d_0 - диаметр опор вала, d_0 = 121 мм;

σ_{-1u} - предел выносливости при изгибе образца при условии знакопеременном цикле, σ_{-1u} = 400 МПа;

n - коэффициент запаса прочности, n = 1,3

$k_Э$ - коэффициент эквивалентной нагрузки, $k_Э$ = 0,8;

Φ_σ^B - является эквивалентным параметром, определяемый, Φ_σ^B = 2,3[4].

$$U_u = \left[\frac{l_k - l_1 + 0{,}125 \cdot l_0}{l_k + 0{,}25 \cdot l_0} + \frac{m_k \cdot \sin(\delta + \alpha_{Ш})}{R_k \cdot \cos\alpha_{Ш}} \times \frac{l_2 + 0{,}125 \cdot l_0}{l_k + 0{,}25 \cdot l_0} \right] \times \frac{l_0}{8}$$

где l_k, l_1, l_2, l_0, R_k - геометрические параметры кривошипного вала и колеса, l_k = 229 мм, l_1 = 95 мм, l_2 = 95 мм, l_0 = 100 мм, R_k = 200мм;

$\alpha_{Ш}$ - угол зацепления, $\alpha_{Ш}$ = 20°.

Аналогично для сечения DD.

$$P_D = \frac{0{,}1 \cdot d_0 \cdot \sigma_{-1u}}{n \cdot k_Э \sqrt{\Phi_\sigma^B \cdot U_u^2 + \Phi_\tau^B \cdot 0{,}062 \cdot m_k^2}}$$

где Φ_τ^B - эквивалентный параметр, Φ_τ^B = 7,5 [2].

$$U_u = \left[\frac{l_k - l_1 + 0{,}125 \cdot l_0}{l_k + 0{,}25 \cdot l_0} + \frac{m_k \cdot \sin(\delta + \alpha_{Ш})}{R_k \cdot \cos\alpha_{Ш}} \times \frac{l_2 + 0{,}125 \cdot l_0}{l_k + 0{,}25 \cdot l_0} \right] \times \left(\frac{l_0}{8} + b \right)$$

где b - параметр кривошипного вала b = 72 мм [1].

Ниже на рисунке 11, 12 представлен графики зависимости допускаемых усилий прочности вала для опасных сечений. Расчетные и полученные данные допускаемых усилий прочности вала для опасных сечений показаны в приложении Е.

Основываясь на произведенных расчетах и полученных данных строится график, который показывает зависимость значений P_D в сеченияхАА и сечении DD соответственно.

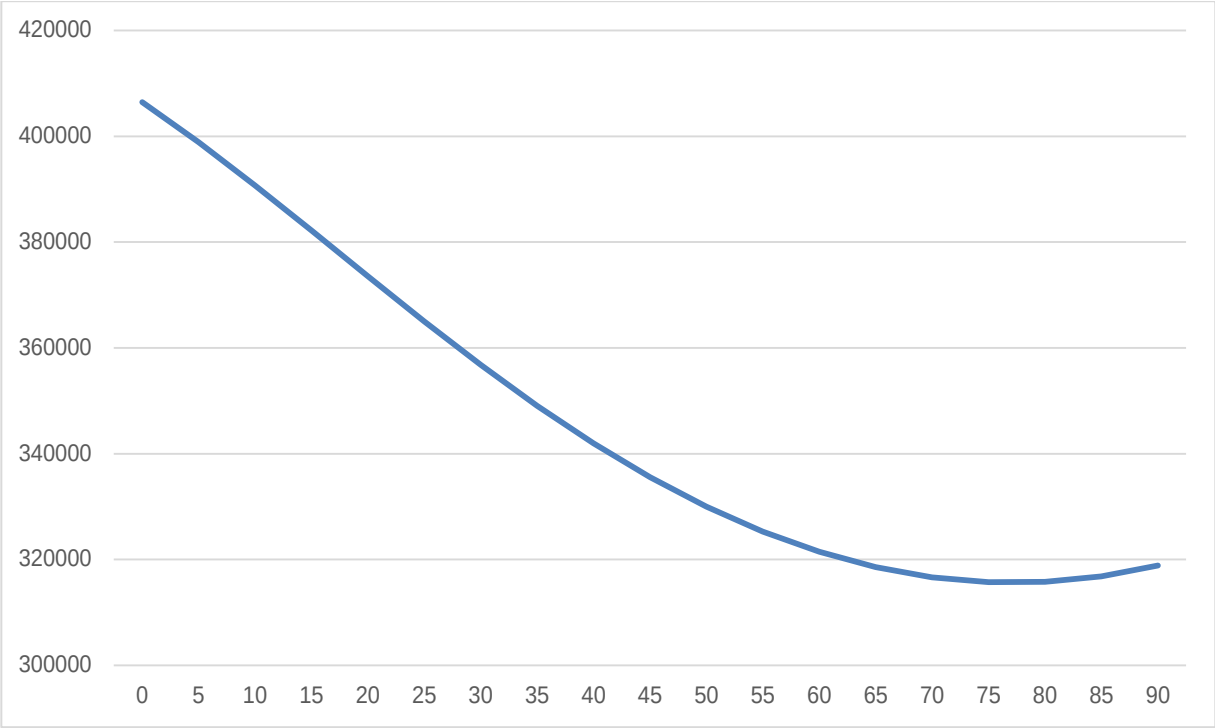


Рисунок 11 - Зависимость значений P_D в сечении AA

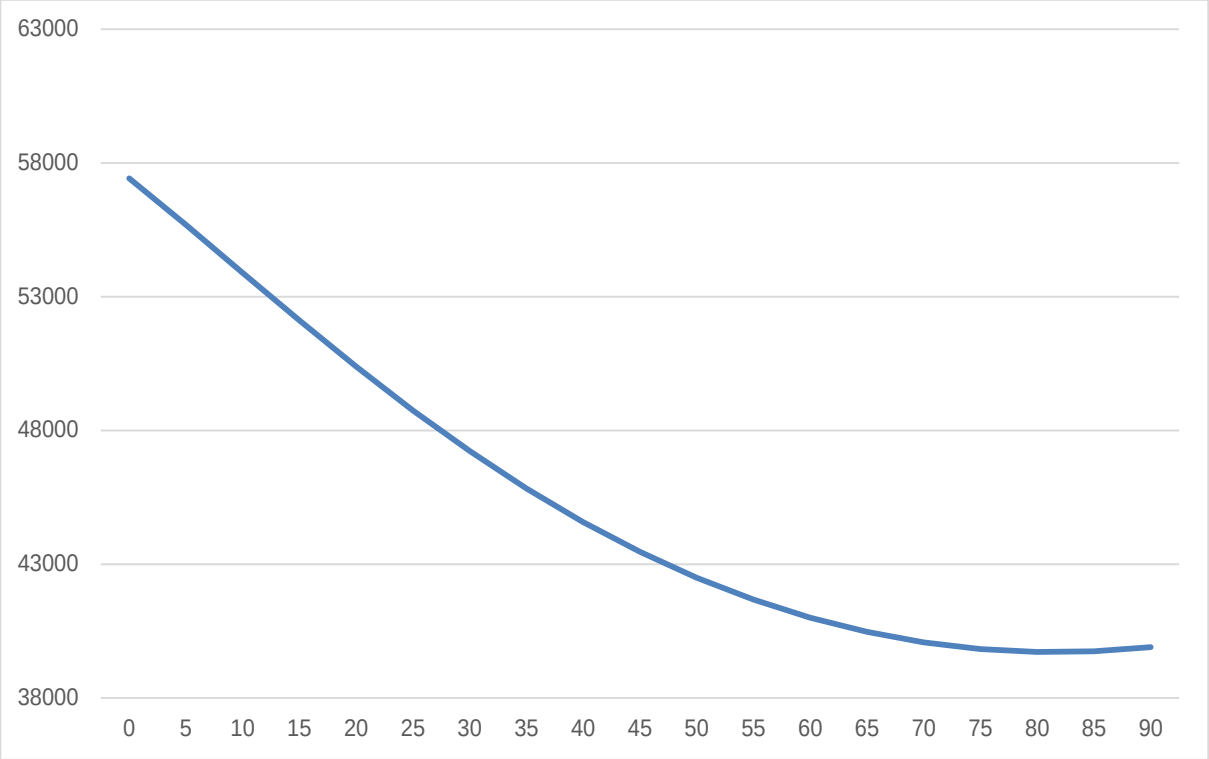


Рисунок 12 - Зависимость значений P_D в сечении DD

5 Расчет кривошипного вала и шатуна на прочность в программе КОМПАС

Более детального и точного расчета нужных элементов конструкции пресса, таких как эксцентриковый вал и шатун, применяются специальные компьютерные программы и утилиты, дающие возможность построить модели деталей а затем проверить их на прочность. В данном примере будет использована утилита КОМПАС-3D и будут показаны постепенные построения деталей, основываясь на заданных размерах детали. Все 3D – модели эксцентрикового вала и шатуна в программе КОМПАС-3D указаны в приложении F.

Для начала будет произведена проверка эксцентрикового вала на прочность, модель вала показана на рисунке 13:

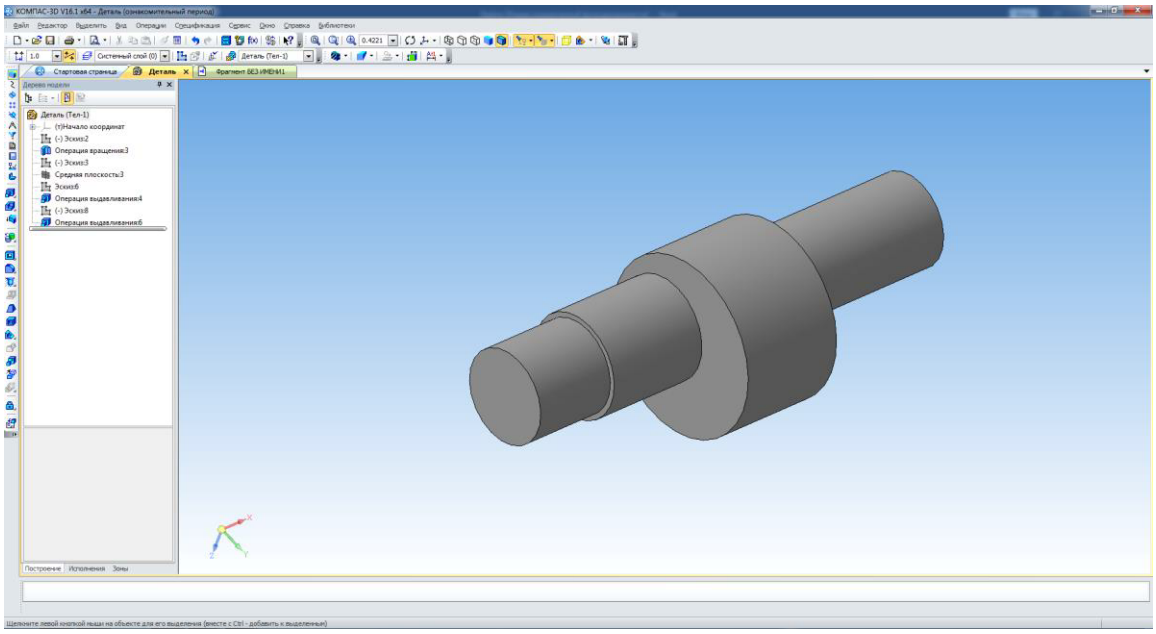


Рисунок 13 – 3D модель эксцентрикового вала

Выбираем материал эксцентрикового вала, используемого в однокривошипном прессе КД2126. Для большинства универсальных кривошипных прессов применяют сталь 40Х улучшенную.

Свойства стали 40Х:

Удельный вес: 7820 кг/м^3

Предел прочности: $\sigma_в$=980 МПа[8].

Температура ковки, °С: начала 1250, конца 800. Сечения до 350 мм охлаждаются на воздухе

Материал указывается в параметрах МЦХ. В дереве модели выбираем вал, затем нажимаем правой кнопкой в появившемся окне выбрать пункт “Свойства модели” далее указать материал выбираем сталь 40Х.

После указания материала для нашего вала, нажимаем пересчитать МЦХ. В появившемся окне будут указаны параметры вала.

Переходим к расчету на прочность вала. Заходим в “Менеджер библиотек” в меню и выбираем раздел “Расчет и построение" и указываем пункт “APM FEM: Прочностной анализ”.

Первым действием в прочностном анализе является установление необходимых закреплений на валу относительно определенной оси. Для этого переходим в пункт “Нагрузки и закрепления” и затем выбираем команду "Установить закрепление”.

После установки закрепления, следует приложить распределенную силу с помощью пункта “Приложить распределенную силу”.Значение распределенной силы равно значению номинального усилия, указанного в техническом паспорте пресса и равного 400 кН и ставится в направлении оси Y.

Далее, переходим в раздел “Разбиение и расчет” и выбираем команду “Генерация КЭ сетки”. Результат указан на рисунке 14:

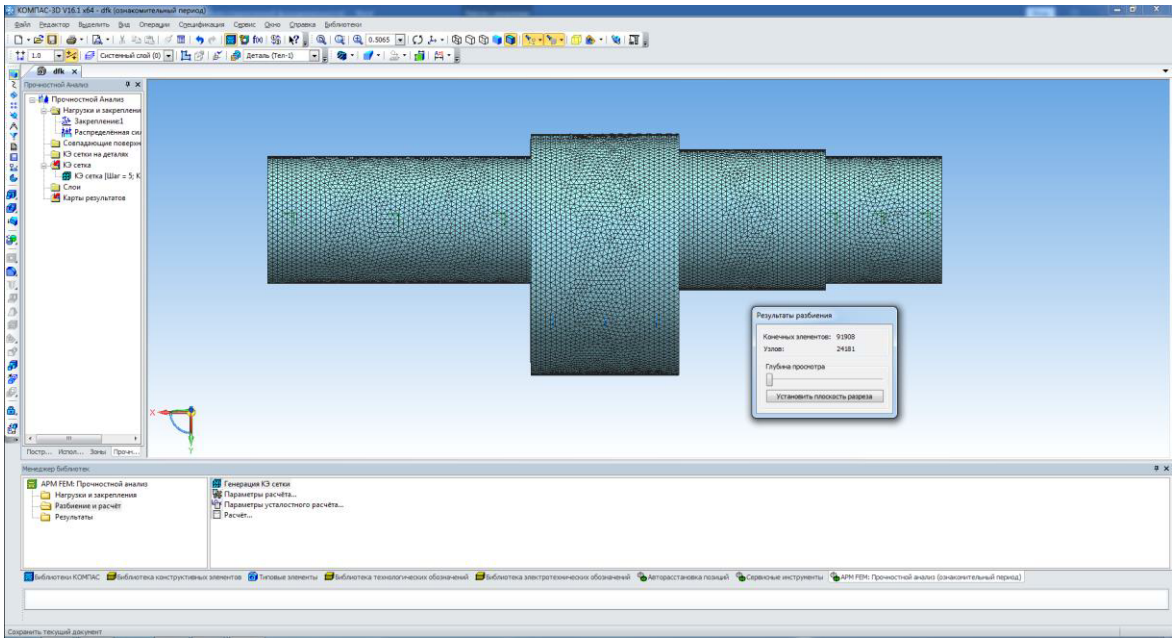


Рисунок 14 – Результат использования команды “Генерация КЭ сетки”

Следующим пунктом переходим к команде “Расчет” и выбираем тип расчета “Статический расчет” затем переходим в раздел “Результаты” и

выбираем “Карта результатов”. Выбираем просмотр результатов для напряжения, коэффициента запаса, и деформации соответственно.

Не мало важно, что максимально допустимым значением параметра $\sigma_{-1и}$ для напряжения является 400 МПа для стали 40Х. Номинальное значение коэффициента запаса прочности является значение в пределах от 1,2 до 3.

Основываясь на полученных данных по проверке исполнительного механизма однокривошипного пресса КД2126 на прочность, видно, что все данные расчета не превышают допустимых значений и находятся в пределах нормы, что показывает о правильность выполнения расчетов и показывает достоверность всех проведенных вычислений.

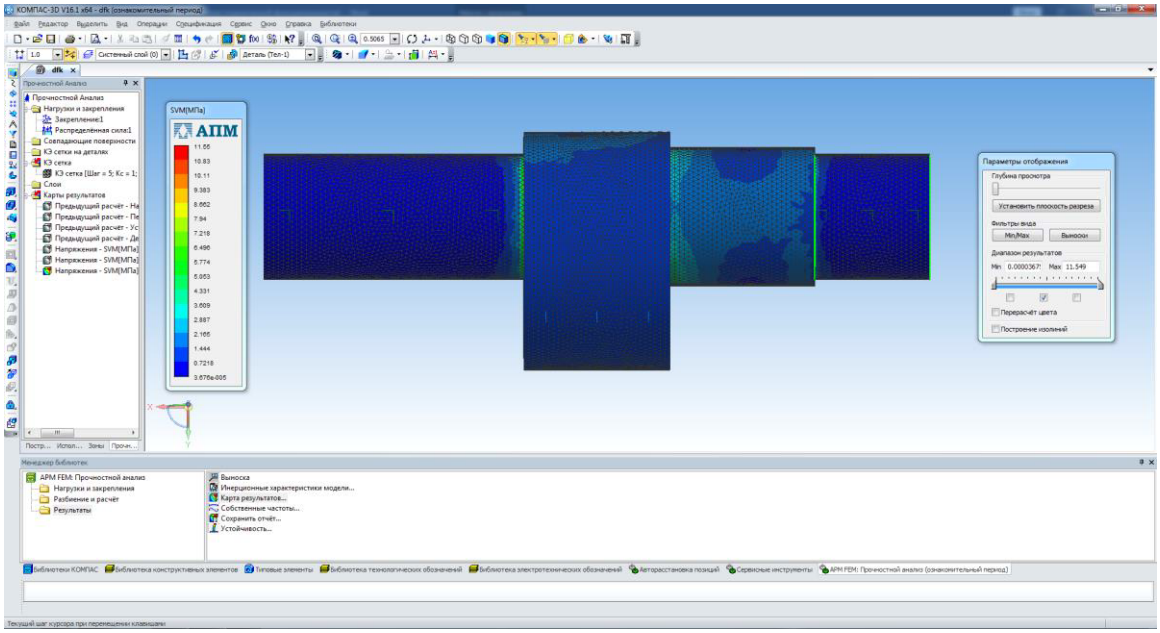


Рисунок 15 – Результаты расчета напряжения

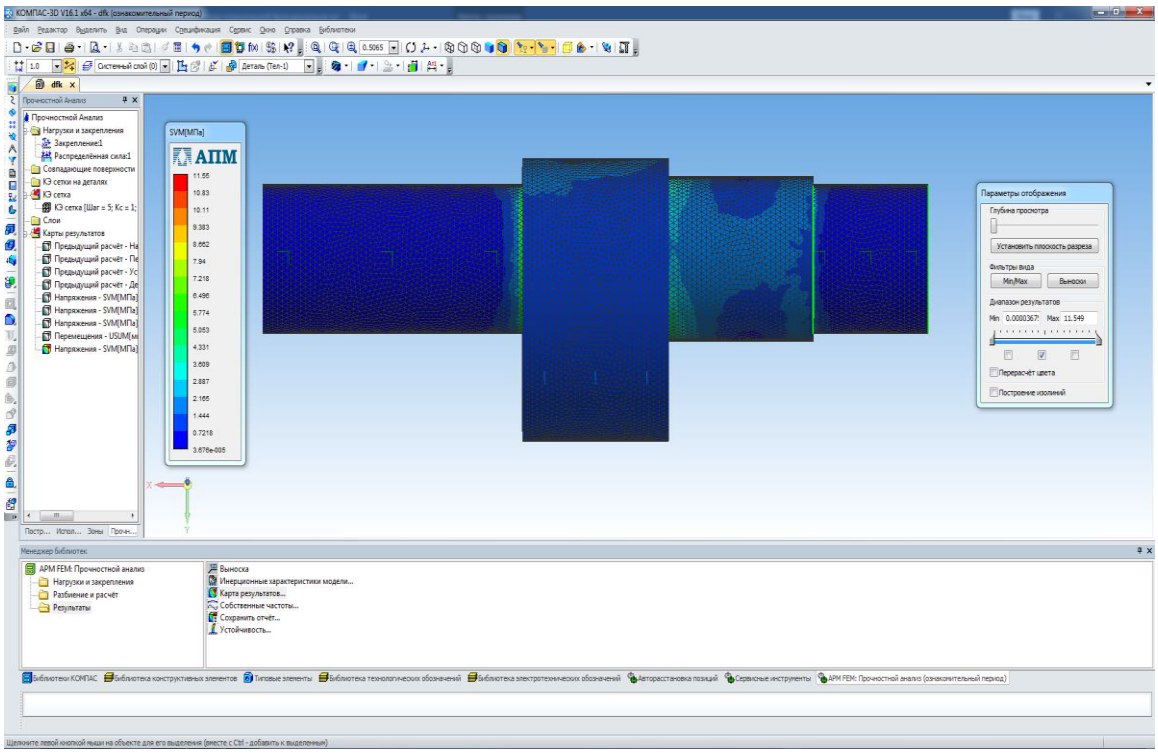


Рисунок 16 – Результаты расчета коэффициента запаса

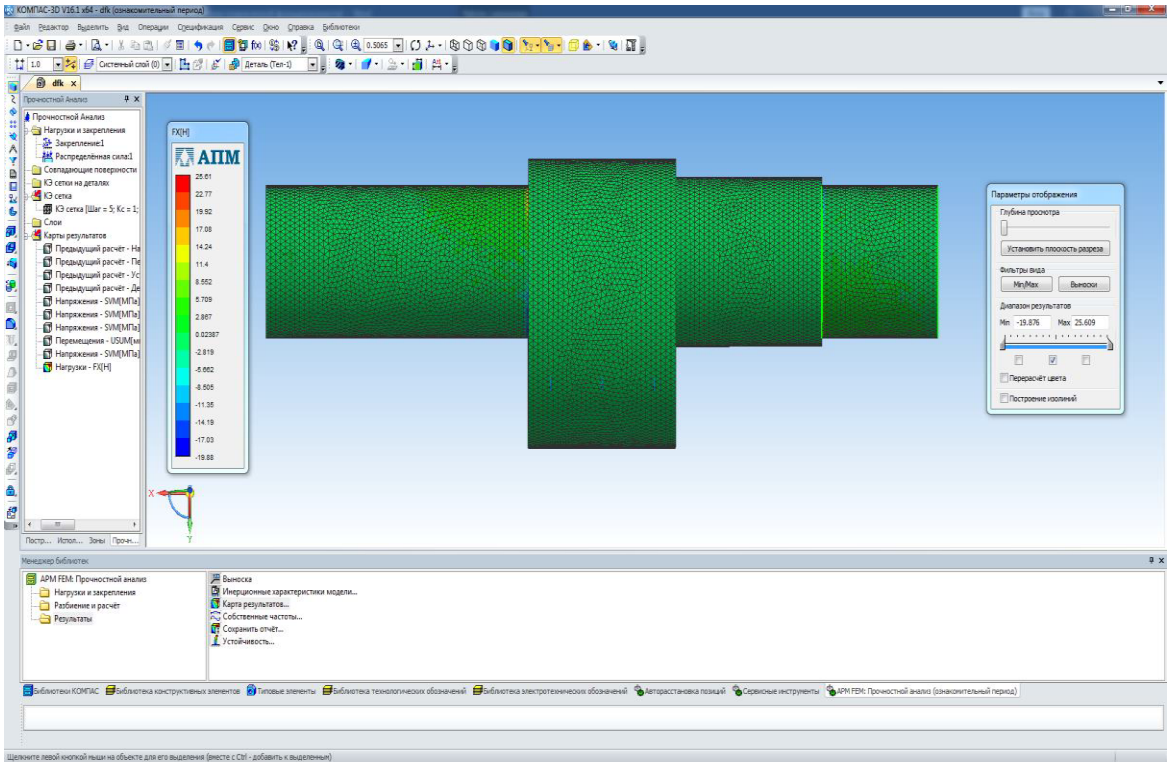


Рисунок 17 – Результаты расчета деформации

Следующим действием производим расчет на прочность шатуна, расчеты похожи на те, что проводились над валом. 3D модель шатуна указана на рисунке 24. Материалом для данного шатуна служит сталь 45. Значением параметра $\sigma_{-1и}$ напряжения является 400 МПа.

Свойства стали 45:

Удельный вес: 7826 кг/м3

Термообработка: Состояние поставки

Температура ковки, °С: начала 1250, конца 700. Сечения до 400 мм охлаждаются на воздухе.

Предел прочности: $\sigma_в$=470 МПа [7].

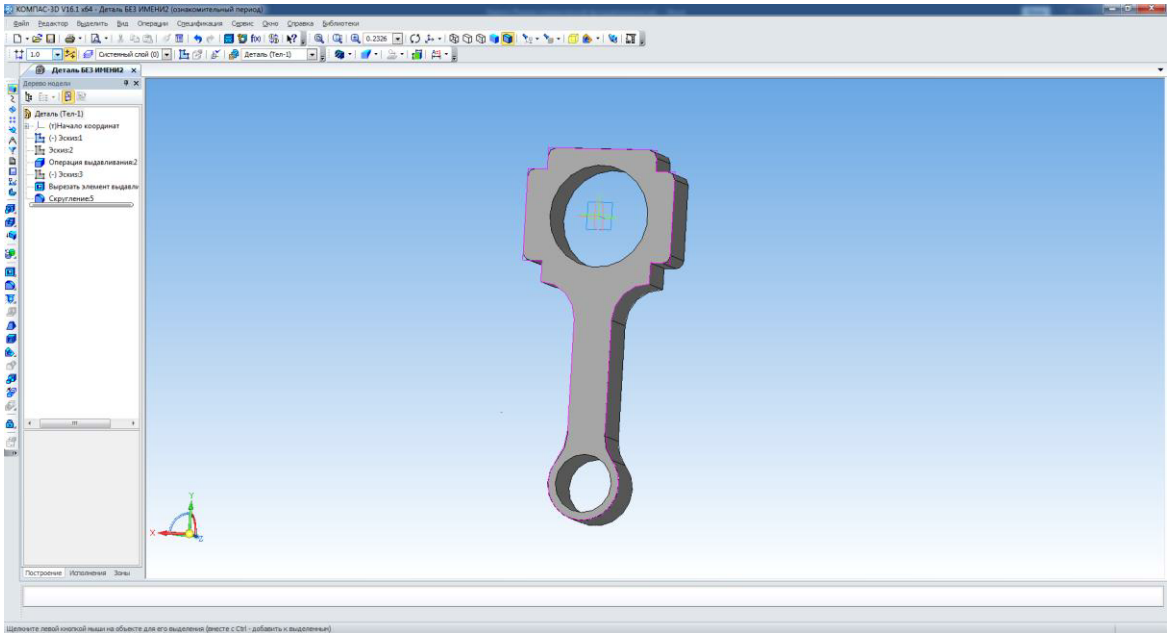


Рисунок 18 – 3D модель шатуна

Устанавливаем все необходимые закрепления для шатуна в месте крепления к валу.

Значение распределенной силы равно значению номинального усилия, указанного в техническом паспорте нашего пресса и равного 400 кН и ставится по направлению оси Y.

После этого переходим в раздел “Разбиение и расчет” и запускаем исполнение команды. Результат на рисунке 19.

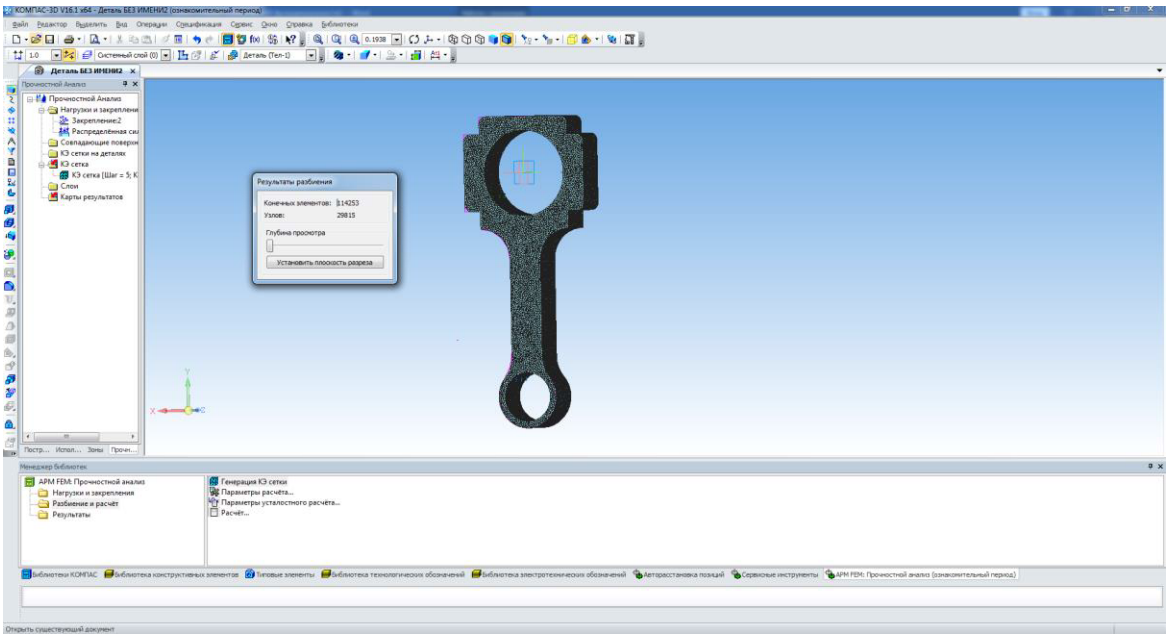


Рисунок 19 – Результат команды “Генерация КЭ сетки”

Переходим к команде “Расчет” и выбираем “Статический расчет”. Следуем в раздел “Результаты” и выбираем команду “Карта результатов” и по полученным данным определяем результаты для напряжения, коэффициента запаса, и деформации.

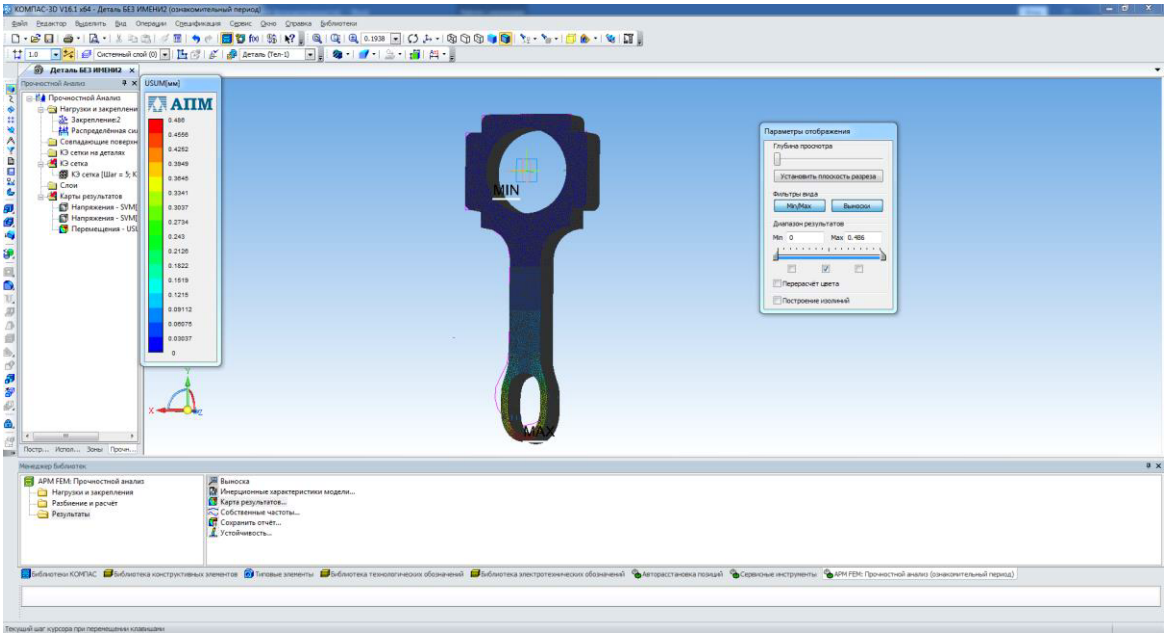


Рисунок 20 – Результаты расчета перемещения шатуна

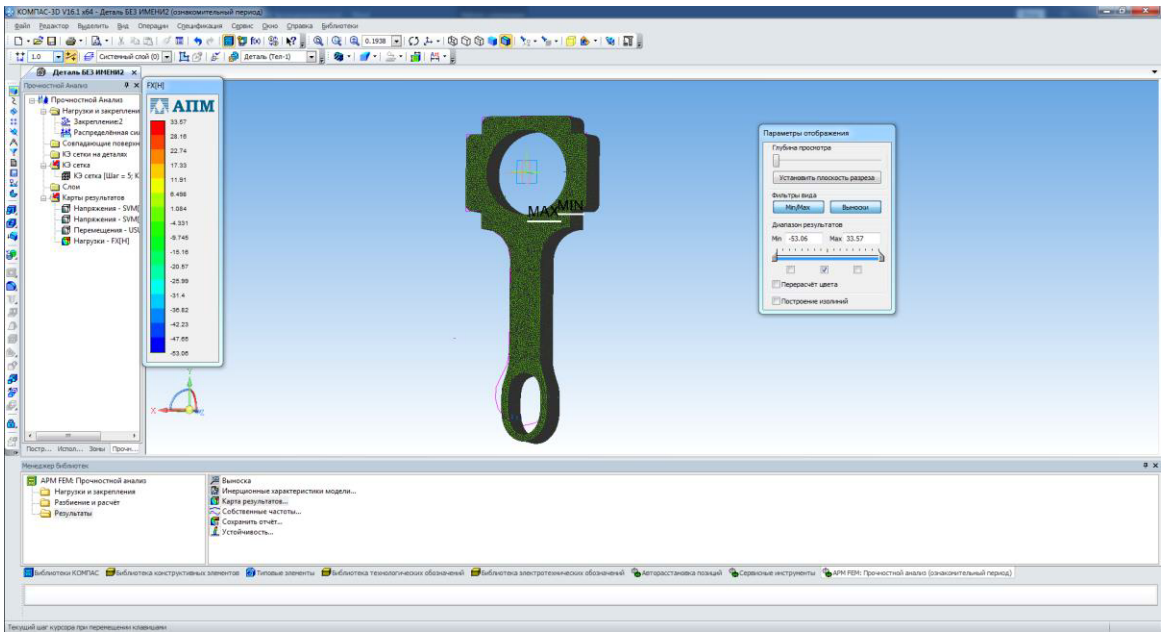


Рисунок 21 – Результаты расчета нагрузки шатуна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дипломная работы была посвящена компьютерному моделированию однокривошипного пресса простого действия модели КД2126 на базе программы КОМПАС-3D, в ходе которой были разделы, связанные напрямую с темой дипломной работы и посвященные пунктам, которые описывают характеристическую и расчетную часть работы.

В данной дипломной работе были показаны, технические характеристики однокривошипного пресса простого действия модели КД2126. Была рассмотрена кинематическая схема данного пресса. Произведены как кинематический расчет, так и статический. Были рассчитаны геометрические параметры эксцентрикового вала.

В заключительной части дипломной работы были смоделированы 3D модели эксцентрикового вала и шатуна пресса КД2126. При помощи APM FEM: Прочностной анализ были произведены расчеты и анализ вала и шатуна на прочность, напряжение, перемещение, деформации рассчитан запас прочности. Данные получены во время анализа с небольшой погрешностью сходились с данными полученными во время кинематических и статических расчетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Орлова Е.П. Оборудование цехов обработки материалов давлением. Кривошипные прессы. Учебное пособие. – Алматы, 2018, 91 с

2 Щеглов В.Ф., Максимов Л.Ю., Линц В.П. Кузнечно-прессовые машины. - М.: Машиностроение, 1979. – 304 с.

3 Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для машиностроительных вузов/ А.Н. Банкетов, Ю.А. Бочаров, Н.С. Добринский и др.; под ред. А.Н. Банкетова, Е.Н. Ланского.-2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982-576 с

4 Ланской Е.Н., Банкетов А.Н. Элементы расчета деталей и узлов кривошипных прессов. М.: Машиностроение, 1966, 379 с

5 http://stanki-katalog.ru/sprav_kd2126.htm

6 Кривошипные кузнечно-прессовые машины/ В.И. Власов, А.Я. Борзыкин, И.К. Кукин-Батырев и др. под ред. В.И. Власова. – М.: Машиностроение, 1982.- 424 с.

7 http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/45

8 http://www.profprokat.ru/content/view/203/52/

Приложение В

График зависимости перемещения S от главного угла поворота α

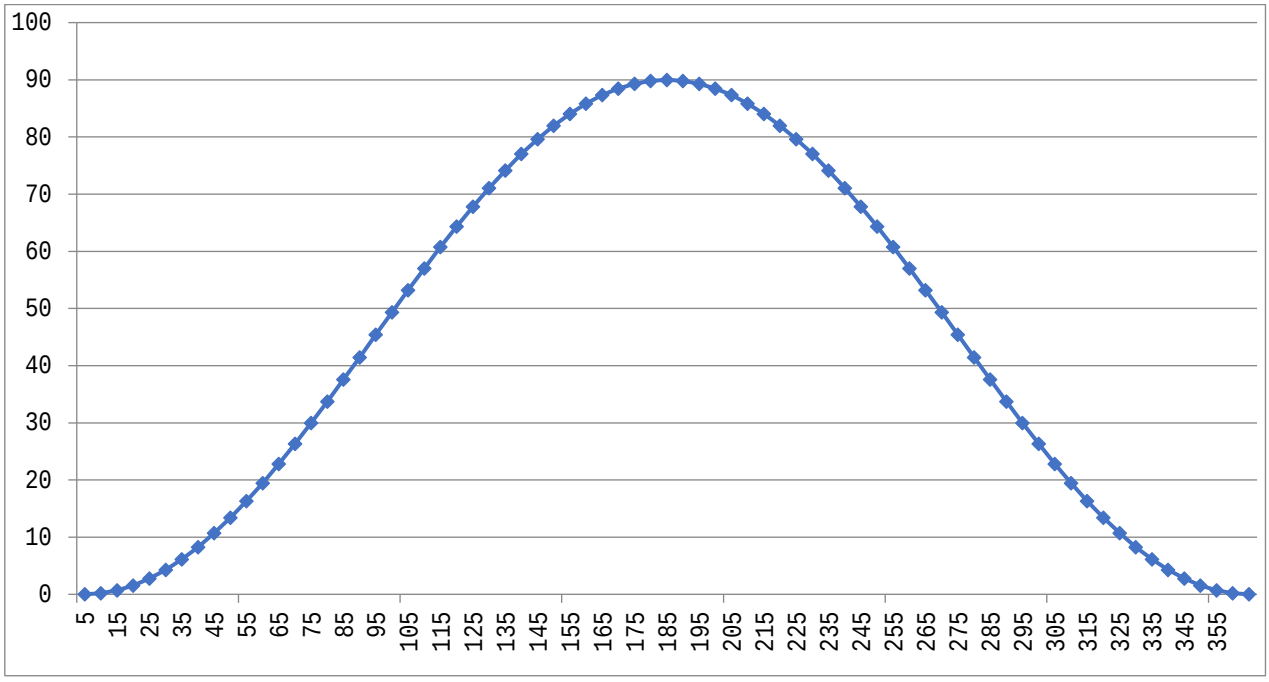
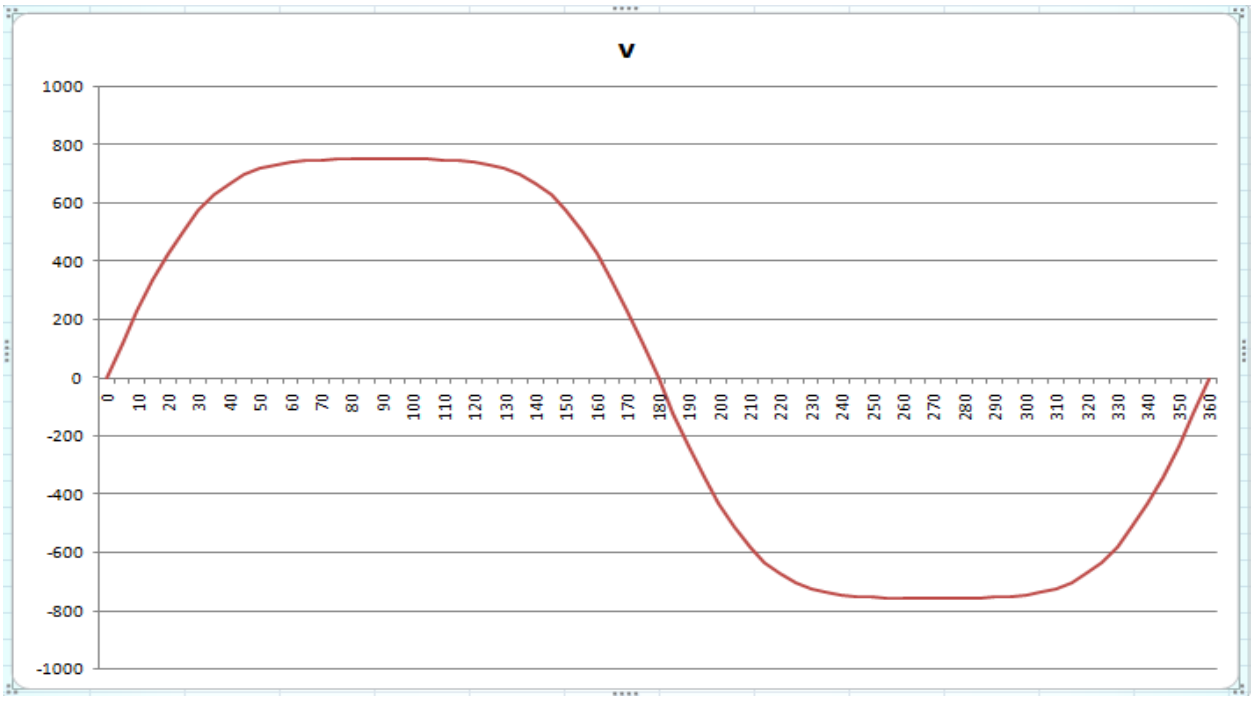
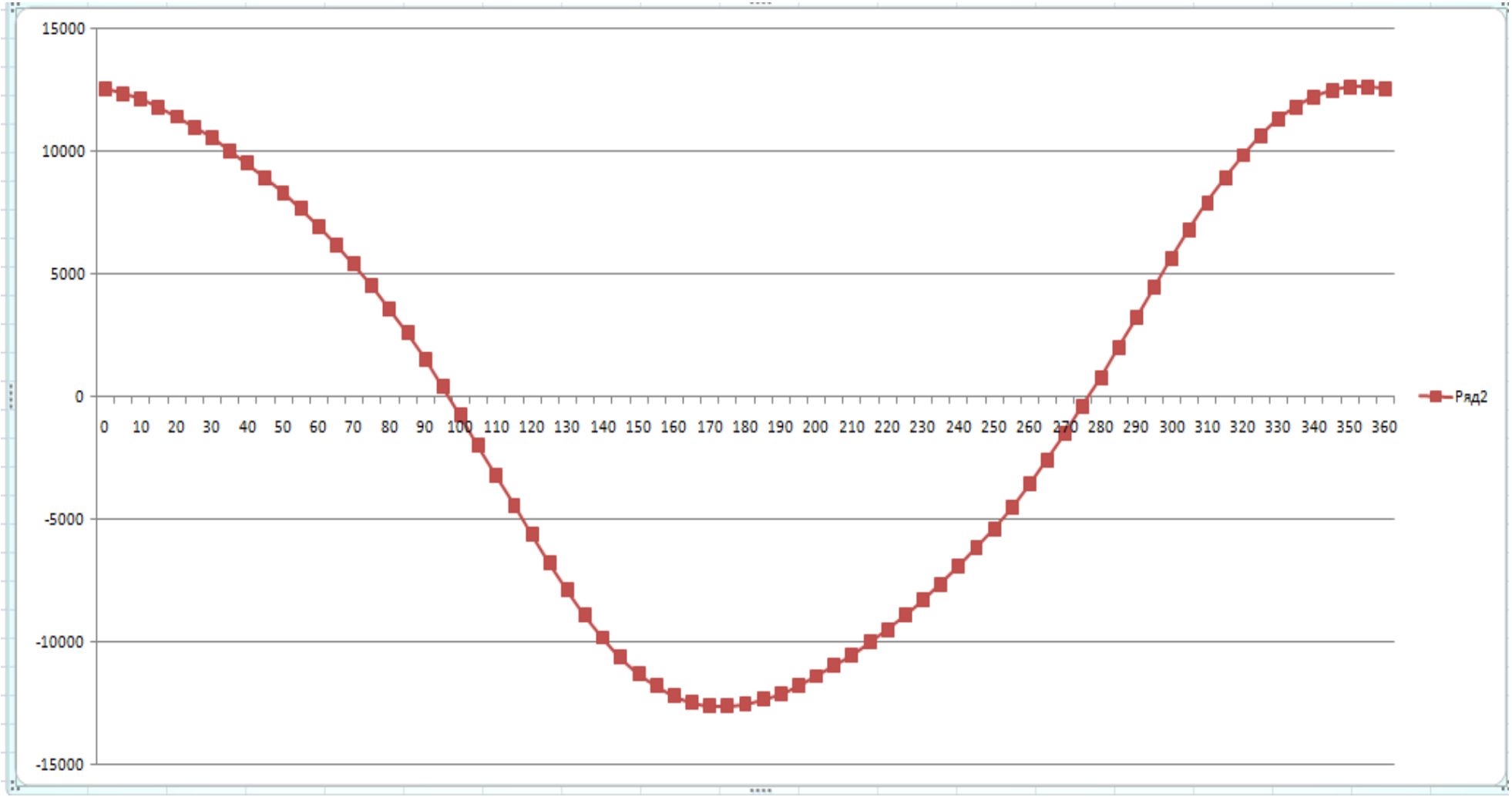


График зависимости скорости V от главного угла поворота α



Продолжение приложения В

График зависимости ускорения j от главного угла поворота α



Приложение D

Таблица 3 - Области применения главных валов различных модификаций в кривошипных машинах

Конструктивное исполнение валов	Область применения	Номинальное усилие, МН	Величина хода ползуна, мм	Эксплуатационные характеристики		
				жесткость	удобство	прочее
Кривошипные	Прессы однокривошипные открытые, простого действия, наклоняемые и ненаклоняемые	До 2,5	До 200	Пониженная	Удобные	Регулируем. ход ползуна
Одноколенчатые	Открытые листоштамповочные прессы, автоматы, машины для объемной штамповки и гибочные, ГКМ, КГШП с клиновым ГИМ	До 4,0	До 250	Нормальная	То же	
Двухколенчатые	Ножницы листовые, прессы листогибочные, двухкривошипные открытые и т.п.	До 4,0	До 250	Нормальная		Увеличенное вдоль фронта штамповое пространство
Эксцентриковые	Тяжелонагруженные машины для объемной штамповки	Свыше 3,0	до 600	Повышенная	удобные	
Шестернеэксцентриковые	Прессы листоштамповочные закрытые простого и двойного действия	свыше 2,5	до 900	Повышенная		Повышенная стоимость при плунжерном исполнении

Продолжение приложения D

Таблица 4 - Значения номинальных углов поворота кривошипа

Тип кривошипных машин	α_H, град
Однокривошипные открытые одностоечные	30÷45
Однокривошипные открытые двухстоечные	55÷65
Однокривошипные закрытые с нормальным ходом	20÷30
Однокривошипные закрытые с увеличенным ходом	10÷20
Двух- и четырехкривошипные	15÷30
Горячештамповочные	3÷5
Горизонтально-ковочные	1÷5
Обрезные	10÷20
Чеканочные	50÷60

Таблица 5 - Рекомендуемые отношения основных размеров главных валов

Параметр	Обозначение	Значение параметров главного вала				
		Кривошипный вал на двух и трех опорах	одноколенчатые валы	двухколенчатые валы	эксцентриковые валы	шестерне-эксцентриковые валы
Диаметр опорной шейки	d_0, d_{01}	(200-300)$\sqrt{P_H}$	(100-160)$\sqrt{P_H}$	(60-140)$\sqrt{P_H}$	103 $\sqrt{P_H + 1}$	25P_H+(110-120)
Диаметр наружной шейки	d_A	(1,3-1,5) d_0	(1,2-1,5) d_0	(1,3-1,5) d_0	(1,6-1,9) d_0	(3,7-4,2) d_0
Диаметр пальца кривошипа	d_2	(0,5-0,7) d_{01}	-	-	-	-
Диаметр втулки маховика	d_1	(0,6-0,8) d_{01}	(0,85-0,95) d_0		(0,85-0,95) d_0	
Длина опорной шейки	l_0, l_{01}	(1,4-1,9) d_{01}	(1,7-2,5) d_0	(1,7-2,1) d_0	(1,4-1,9) d_0	
Длина шатунной шейки (эксцентриковой втулки)	$l_ш$	(0,8-1,1) d_{01}	(1,3-2,1) d_0	(1,2-1,4) d_0	(0,7-1,0) d_0	(0,6-1,2) d_0
Радиус галтели	r	0,1 d_{01}	0,08 d_0	0,07 d_0	0,11 d_0	0,12 d_0

Продолжение приложения D

Таблица 6 - Значения коэффициента эквивалентной нагрузки $k_э$

Наименование кривошипной машины	$n_{од}$ (х/мин)	$k_э$
Непереналаживаемые автоматы для холодной и горячей штамповки	Свыше 50	1,0
Переналаживаемые автоматы для холодной и горячей штамповки	120÷250 50÷120 20÷50 До 20	0,98÷1,0 0,90÷0,96 0,86÷0,93 0,80-0,87
Автоматизированные машины всех типов, вытяжные, для выдавливания и точной вырубки, ножницы гильотинные	50÷120 20÷50 10-20 До 10	0,87÷0,92 0,78÷0,84 0,73÷0,78 0,68÷0,72
Машины листоштамповочные для разделительных операций, для холодной объемной штамповки	70-120 40-70 20-40 10-20 До 10	0,80÷0,83 0,76÷0,80 0,70÷0,75 0,63÷0,68 0,61÷0,62
Горячештамповочные машины при многопереходной штамповка с ручным обслуживанием	30-50 20÷30 15÷20 10÷15 До 10	0,62÷0,68 0,61÷0,66 0,60÷0,63 0,60÷0,61 0,6

Таблица 7 - Значения коэффициента запаса прочности n

Наименование кривошипной машины	n
Универсальные прессы	1,3÷1,4
Прессы-автоматы	1,5÷2,0

Продолжение приложения D

Таблица 8. Значения коэффициента использования числа ходов р

Типы кривошипных машин	р
Прессы двойного действия:	
однокривошипные открытые	0,3÷0,1
однокривошипные закрытые	0,8÷0,4
Двух- и четырехкривошипные	0,6÷0,2
Горячештамповочные прессы	0,4÷0,2
Горизонтально-ковочные машины	0,6÷0,3
Чеканочные прессы	0,8÷0,4
Автоматы для холодной и горячей штамповки	1,0
Ножницы для резки заготовок	0,8÷0,5
Ножницы для резки листового металла	0,5÷0,2

Таблица 9 - Значения коэффициента пропорциональности при определении коэффициента жесткости прессов

Тип пресса	Коэффициент К
Открытие листоштамповочные	0,5÷0,6
Однокривошипные закрытые листоштамповочные	0,75÷0,9
Двух-четырехкривошипные закрытые листоштамповочные	0,6÷1,0
Многопозиционные и листоштамповочные прессы-автоматы	0,8÷1,1
Специализированные для разделительных операций	2,0÷2,7
Кривошипные горячештамповочные прессы, многопозиционные прессы-автоматы	1,7÷1,9
Горизонтально-ковочные машины	0,9÷1,2
Однопозиционные холодновысадочные автоматы	1,1÷1,6
Многопозиционные холодновысадочные автоматы	2,0÷2,2
Универсальные вертикальные для холодного выдавливания, чеканочные	1,0÷1,6
Многопозиционные для холодного выдавливания	1,3÷1,5
Перфорационные	0,8÷1,1

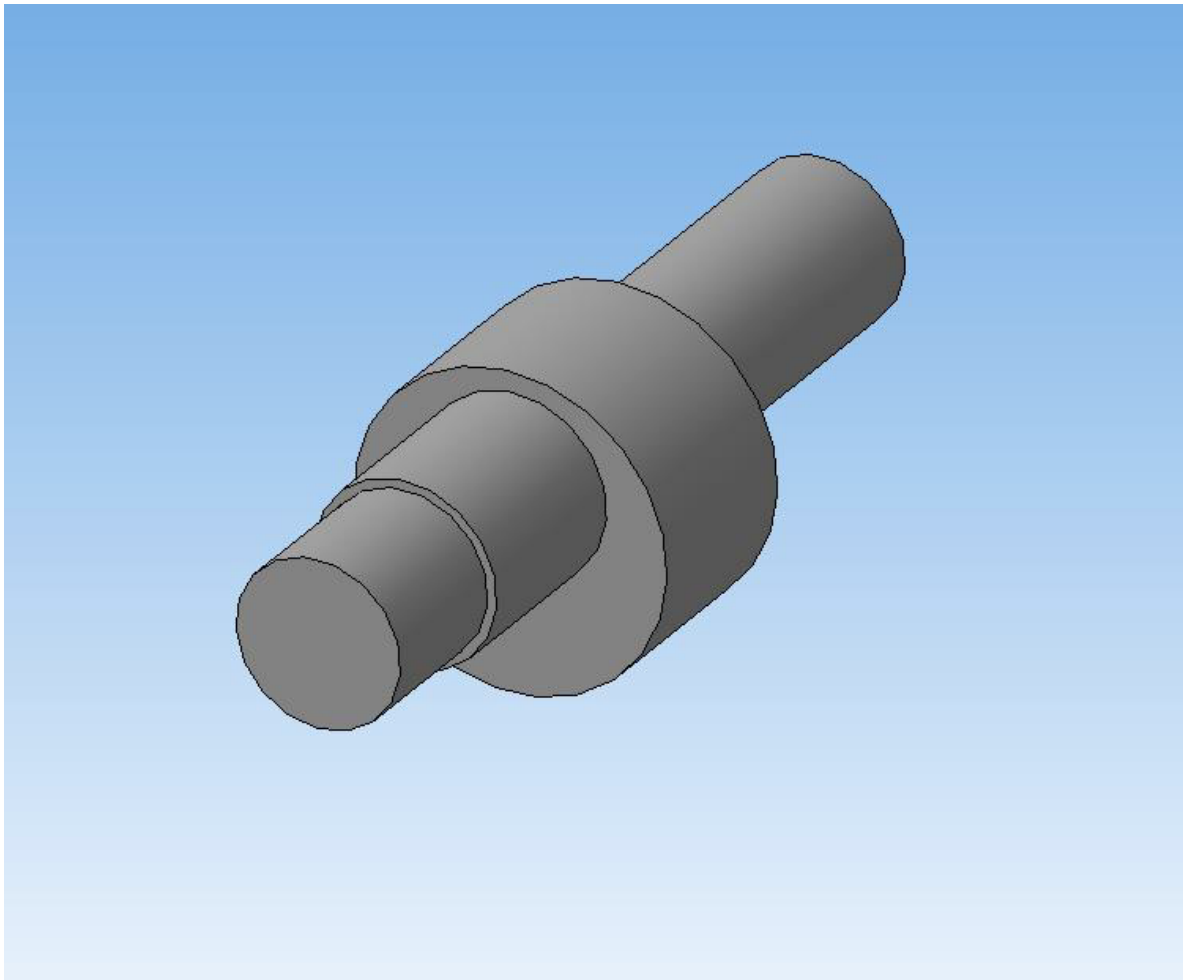
Приложение Е

Расчетные данные допускаемых усилий прочности вала

δ,градусы	P_{AA}	U_u(AA)	P_{DD}	U_u(DD)
0	406487	7,549209	57422,54	51,03265
5	398916,8	7,69247	55682,17	52,0011
10	390724,3	7,853762	53893,11	53,09143
15	382175,8	8,029433	52112,93	54,27897
20	373523,2	8,215434	50387,31	55,53633
25	364993,5	8,407424	48750,45	56,83418
30	356783,4	8,600892	47226,52	58,14203
35	349057,2	8,791267	45831,55	59,42897
40	341948,3	8,974034	44575,33	60,66447
45	335561,5	9,144838	43463,1	61,81911
50	329977,4	9,299593	42496,94	62,86525
55	325256,4	9,434573	41676,9	63,77771
60	321442,9	9,546502	41001,79	64,53435
65	318568,8	9,63263	40469,8	65,11658
70	316656,7	9,690795	40078,98	65,50977
75	315722,3	9,719476	39827,5	65,70366
80	315775,9	9,717827	39713,84	65,69251
85	316823,4	9,685697	39736,97	65,47531
90	318866,6	9,623634	39896,31	65,05577

Приложение F

3D модель эксцентрикового вала



Приложение А

Таблица А.1 - Данные расчета перемещения, скорости и ускорения ползуна кривошипно-ползунного механизма.

α,град	s,мм	v,мм/с	j,мм/с^2
0	0	0	12529,5309
5	0,15953	117,626	12354,8913
10	0,59263	230,854	12103,0275
15	1,2369	335,774	11785,6534
20	2,04022	429,351	11412,8929
25	2,96266	509,672	10992,862
30	3,9773	576,003	10531,4413
35	5,07005	628,679	10032,2186
40	6,23893	668,877	9496,57537
45	7,49285	698,323	8923,89123
50	8,85027	718,998	8311,84249
55	10,3377	732,889	7656,77867
60	11,9882	741,801	6954,16516
65	13,8394	747,249	6199,08497
70	15,932	750,416	5386,79364
75	18,3068	752,161	4513,31846
80	21,0025	753,064	3576,08644
85	24,0514	753,481	2574,55451
90	27,4762	753,6	1510,80253
95	31,2854	753,481	390,036888
100	35,4695	753,064	-779,05716
105	39,9971	752,161	-1984,1783
110	44,8136	750,416	-3209,5428
115	49,8405	747,249	-4436,3258
120	54,9783	741,801	-5643,4131
125	60,1113	732,889	-6808,4292
130	65,1147	718,998	-7908,9647
135	69,8639	698,323	-8923,8912
140	74,2435	668,877	-9834,6299
145	78,1563	628,679	-10626,239
150	81,5302	576,003	-11288,204
155	84,3223	509,672	-11814,85
160	86,52	429,351	-12205,347
165	88,139	335,774	-12463,334
170	89,2189	230,854	-12596,219
175	89,8166	117,626	-12614,259
180	90	9,2E-14	-12529,531

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

α,град	s,мм	v,мм/с	j,мм/с^2
185	89,8405	-117,63	-12354,891
190	89,4074	-230,85	-12103,028
195	88,7631	-335,77	-11785,653
200	87,9598	-429,35	-11412,893
205	87,0373	-509,67	-10992,862
210	86,0227	-576	-10531,441
215	84,9299	-628,68	-10032,219
220	83,7611	-668,88	-9496,5754
225	82,5071	-698,32	-8923,8912
230	81,1497	-719	-8311,8425
235	79,6623	-732,89	-7656,7787
240	78,0118	-741,8	-6954,1652
245	76,1606	-747,25	-6199,085
250	74,068	-750,42	-5386,7936
255	71,6932	-752,16	-4513,3185
260	68,9975	-753,06	-3576,0864
265	65,9486	-753,48	-2574,5545
270	62,5238	-753,6	-1510,8025
275	58,7146	-753,48	-390,03689
280	54,5305	-753,06	779,057164
285	50,0029	-752,16	1984,17825
290	45,1864	-750,42	3209,54279
295	40,1595	-747,25	4436,32583
300	35,0217	-741,8	5643,41314
305	29,8887	-732,89	6808,42923
310	24,8853	-719	7908,96475
315	20,1361	-698,32	8923,89123
320	15,7565	-668,88	9834,62993
325	11,8437	-628,68	10626,2393
330	8,4698	-576	11288,2043
335	5,67771	-509,67	11814,8501
340	3,48001	-429,35	12205,3474
345	1,86098	-335,77	12463,3345
350	0,78112	-230,85	12596,2192
355	0,18336	-117,63	12614,2594
360	0	-2E-13	12529,5309

Приложение С

Таблица 1 - Данные расчета приведенного плеча и приведенного плеча силы кривошипно-ползунного механизма

α	Mka	Mk
0	7,00953	35,26953
5	12,32561	40,58561
10	17,50414	45,76414
15	22,51397	50,77397
20	27,32658	55,58658
25	31,91587	60,17587
30	36,25802	64,51802
35	40,33132	68,59132
40	44,11601	72,37601
45	47,59419	75,85419
50	50,74973	79,00973
55	53,56821	81,82821
60	56,03689	84,29689
65	58,1447	86,4047
70	59,88221	88,14221
75	61,24168	89,50168
80	62,21708	90,47708
85	62,80405	91,06405
90	63	91,26