

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»

Выполнил: Талипжанулы Билалидин

Проектирование паровоздушного молота и его узлов с использованием
компьютерного моделирования

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 «Индустри-
альная инженерия»

Доктор PhD.

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: " _Проектирование паровоздушного молота и его узлов с использо-
ванием компьютерного моделирования”

по специальности 5В071200 –Машиностроение

Выполнил

Талипжанулы Б.

Рецензент

_____ Ф.И.О

« ____ » _____ 2020 г.

Научный руководитель

Кандидат технических наук,
ассистент - профессор

_____ Орлова Е.П.

« ____ » _____ 2020г.

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 Талипжанулы Билалидину

Тема: «Проектирование паровоздушного молота и его узлов с использованием компьютерного моделирования»

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: 6 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 _____ Талипжанулы Б.

Дата

«11» 02 2020 г.

АҢДАТУ

Бұл дипломдық жұмыста бу-ауа балғаны конструкциясының жалпы көрінісі қарастырылады. Бастапқы мәліметтер негізінде аналитикалық есеп жүргізілді, сонымен қатар Autodesk жүйесіне кіретін Inventor модулінде қор конструкциясының есебі жүргізілді. Алынған деректер негізінде біз Inventor бағдарламасының көмегімен бұрын алынған беріктікке есептеулерді тексереміз. Бұл дипломдық жұмыс есептеудің екі әдісі арқылы алынған беріктік есептеулердің нәтижелерін салыстыруға мүмкіндік береді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассмотрена общая картина проектирования паровоздушного молота. На основе исходных данных был произведен аналитический расчет, а также проектировочный расчет штока в модуле Inventor входящая в систему Autodesk. По полученным данным проверям полученные ранее вычисления на прочность при помощи программы Inventor. Данная дипломная работа позволяет сравнить результаты расчетов на прочность, полученные двумя методами расчета.

ANNOTATION

In this diploma work, the overall picture of the design of a steam-air hammer is considered. Based on the initial data, an analytical calculation was made, as well as a design calculation of the stock in the Inventor module included in the Autodesk system. Based on the obtained data, we check the previously obtained calculations for strength using the Inventor program. This diploma work allows you to compare the results of strength calculations obtained by two methods of calculation.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Общие сведения о молотах	10
2 Компоновка общей конструкции и расчет	12
2.1 Полная эффективная кинетическая энергия и параметры молота	12
2.2 Скорость удара	13
2.3 Масса шабота	14
2.4 Максимальное деформирующее	14
3 Расчет проектировочных параметров паровоздушного молота	15
3.1 Расчет диаметра цилиндра	15
3.2 Подъемная сила и время цикла	16
4 Расчет основных узлов и деталей молота	19
4.1 Расчет цилиндра	19
4.2 Расчет поршня, штока и бабы	19
5 Расчет на прочность штока в Autodesk Inventor	22
Список использованной литературы	28
Заключение	
Приложения	

ВВЕДЕНИЕ

Из числа огромного разнообразия машин используемых в народном хозяйстве, особенную роль захватывают рабочие машины металлообрабатывающей индустрии, к каким принадлежат кузнечные машины.

Одни с наиболее известных видов оборудования считаются молоты, вплоть до 80% парка машин кузнечно-штамповочного изготовления. По настоящий период определено, то что абсолютная смена гидравлическими, также кривошипными прессами, молотами неэффективна, а также не отнюдь вероятно. Главное превосходство молотов заключается в том, то, что по сопоставлению с кривошипными также гидравлическими прессами их можно реализовывать на более благоприятных температурно-скоростных режимах деформирования.

На базе новейших систем паровоздушных штамповочных молотов формируются автоматизированные технологические сложные комплексы с целью штамповки, разрабатываются наиболее прочные также совершенные конструкции молотов.

1 Общие сведения о молотах

Молотами называют машины ударного воздействия, на которых энергия привода перед ударом преобразуется в кинетическую энергию прямолинейного перемещения рабочих масс с прикрепленным на них инструментом, а в момент удара в полезную работу деформирования поковки. В основном для привода применяют сжатый воздух или же газ, жидкости под давлением, горючие смеси, взрывчатые элементы, электромагнитные и гравитационные поля [1].

Принцип действия молотов заключается в разгоне рабочих масс до скорости v с затратой работы привода A_n во время холостого хода по направлению к поковке с целью накопления кинетической энергии $T_э$ (которая называется эффективной энергией молота) и использования ее для полезной работы деформирования поковки A_d во время рабочего хода:

$$A_n \rightarrow T_э \rightarrow A_d$$

Паровоздушные молоты (рисунок 1) включают в свой состав следующие узлы и механизмы: шабот, станину, падающие части, рабочий цилиндр с предохранительным устройством, парораспределительный механизм, систему управления и маслосмазывающая станция [1].

Баба. Конструктивная форма бабы штамповочного молота представляет собой прямоугольную симметричную поковку с отверстием в центре для крепления штока. Центр тяжести бабы должен находиться на оси отверстия под шток [2].

Направляющие бабы. Современные молоты снабжены сменными, регулируемыми направляющими. Направляющие выполняются в виде брусьев. Одна плоская сторона бруса имеет уклон 1:24, другая — трапециевидные гребни, с помощью которых осуществляется сопряжение с направляющими поверхностями бабы. Направляющие находятся в соответствующих выемках стоек и соединяются с ними двумя или тремя стяжными болтами. Для тяжелых молотов применяют с каждой стороны по две отдельные направляющие. Для регулировки зазора в направляющих используют вертикальный клин с уклоном 1:24, аналогичным уклону сопрягаемой поверхности направляющей. Вертикальное перемещение клина осуществляется с помощью винта с Т-образной головкой и гайки. При регулировке направляющих должна быть соблюдена строгая вертикальность штока [2].

Цилиндры. В нынешних штамповочных молотах используют цилиндры, на днище сквозное отверстие существенного диаметра, чтобы облегчить механическую обработку поверхности.

Цилиндры оборудованы внутренними втулками из чугуна СЧ25. Посадку втулок исполняют натягом с помощью разогрева паром либо охлаждением втулки в жидком азоте. В случае если втулки чугунные, в таком случае кольца исполняют стальными, и также наоборот

В качестве материала для изготовления цилиндров используют стальное литье, содержащее 0,25—0,35% углерода.

С целью повышения жесткости цилиндры со внешней поверхности оснащены ребрами.

Цилиндр является одним из элементов, направляющих движение подвижных частей. Серьезное внимание должно быть обращено на соединение цилиндра с подцилиндровой плитой. Необходимо при сборке обеспечить точное фиксирование положения цилиндра по отношению к оси молота [2].

Подцилиндровые плиты. Подцилиндровые плиты соединяют верхние части стоек станины и обеспечивают прочную опорную поверхность для плиты.

Во внешние зазоры между вертикальными стенками выемки плиты и выступов стоек вставляют клинья. Такие клинья ослабляют воздействие стоек на подцилиндровую плиту при перемещении стоек вдоль шабота при ударе. Для устранения поперечного смещения плиты применяют замки, состоящие из впадин и соответствующих выступов в плите и стойках. Цилиндры с подцилиндровыми плитами соединяют стяжными шпильками 10, снабженными амортизационными пружинами. Эти болты, проходя сквозь Подцилиндровые плиты, скрепляют их со стойками станин молотов.

Подцилиндровые плиты изготавливают из ковanej стали 45 [2].

Штоки молотов. Шток паровоздушного молота считается элементом передаточного механизма. Сила пара либо сжатого воздуха переходит с помощью штока рабочему механизму молота – бабке с прикрепленным в ней бойком либо штампом.

На верхнем конце штока имеется поршень. Уплотнением штока служит манжета, которая находится в грундбукса.

Штоки штампочных молотов с связи тяжелыми условиями эксплуатации изготавливают из стали 30М, 30ХНВ, 40ХНВ.

Поршни. Поршни молотов соединяют со штоками горячей посадкой на верхний конус штока с последующей расчеканкой конца. Материал поршня — сталь 45.

Уплотнением для поршней служат разрезные кольца из стали 20. Наибольшее применение получили поршни с тремя кольцами.

Предохранитель. Предохранитель устанавливается на случай отрыва бабы от штока с поршнем, для гашения их последующего ускоренного движения вверх. Предохранитель состоит из цилиндра и поршня. При ударе рабочего поршня по поршню предохранителя, последний, упираясь в сжатый воздух или пар, тормозится, не дойдя до крышки, предотвращая жесткий удар [2].

2 Компоновка общей конструкции и расчет

2.1 Полная эффективная кинетическая энергия и параметры молота

Параметры паровоздушных штамповочных молотов регламентируются по ГОСТу 7024-65.

Техническая характеристика молота и его чертеж (рисунок 2.1)

Таблица 2.1. Параметры паровоздушного молота

Масса, кг	50000
Номинальная масса падающих частей, кг	2200
Энергия удара, кДж	52
Габариты, мм	2900x1700x4700
Начало серийного производства	1990
Мощность, кВт	0.08

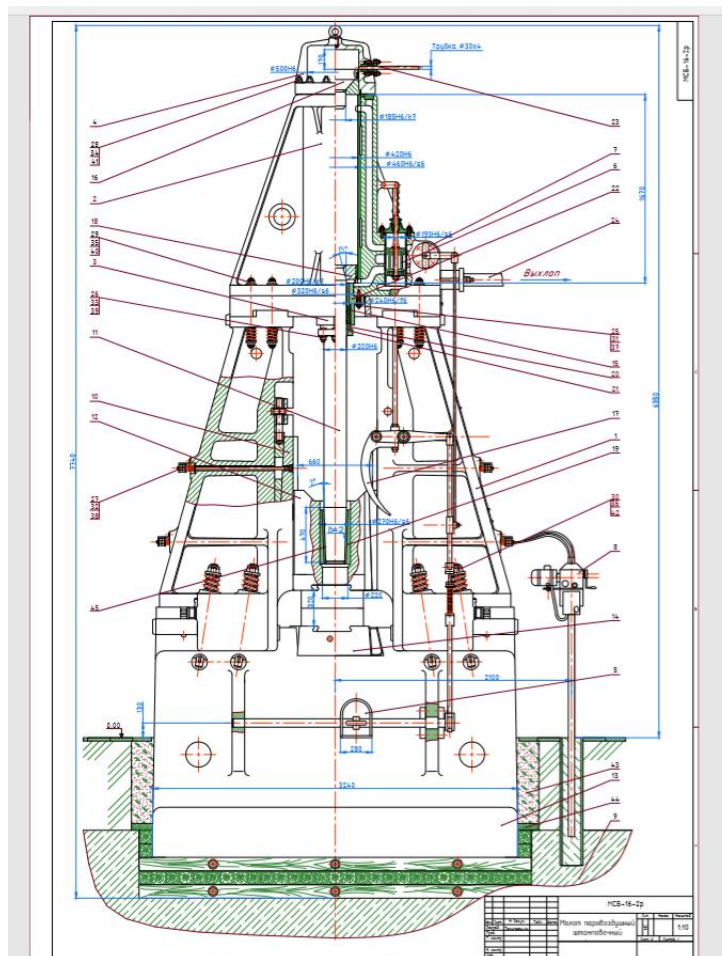


Рисунок 2.1 – Паровоздушный штамповочный молот

Определяем полную эффективную кинетическую энергию[4]:

$$T_{\Sigma} = \frac{T_{\text{э}}}{\eta_{\Sigma}} = \frac{52}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 103,2 \text{ кДж} \quad (2.1)$$

где $T_{\text{э}}$ – заданная эффективная кинетическая энергия, кДж;
 η_{Σ} – суммарный коэффициент полезного действия (к.п.д.) молота:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{уд}} \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{терм}},$$

где $\eta_{\text{уд}}$ – к.п.д. ударного деформирования $\eta_{\text{уд}} = 0,7$;

$\eta_{\text{мех}}$ – механический к.п.д. молота, $\eta_{\text{мех}} = 0,8$;

$\eta_{\text{терм}}$ – относительный термический к.п.д. молота, $\eta_{\text{терм}} = 0,9$.

Непосредственно на деформацию заготовки придется следующая работа:

$$A_{\text{д}} = T_{\text{э}} \cdot \eta_{\text{уд}} = 52 \cdot 0,7 = 36,4 \text{ кДж.} \quad (2.2)$$

2.2 Скорость удара

Определяем скорость удара молота [4]:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2T_{\text{э}}}{m_1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 52 \cdot 10^3}{2200}} = 6,9 \text{ м/с} \quad (2.3)$$

где m_1 - заданная масса падающих частей молота, кг.

Если бы молот был простого действия, то скорость падающих частей молота составляла:

$$v_0 = \frac{v_1}{1,5} = \frac{6,9}{1,5} = 4,6 \text{ м/с.} \quad (2.4)$$

2.3 Полный ход бабы (ход поршня при отсутствии поковки).

С учетом скорости v_0 и потерь на трение при движении рабочих частей, необходимый ход поршня рабочего цилиндра молота простого действия составит:

$$H_m = \frac{v_0^2}{1,8 \cdot g} = \frac{4,6^2}{1,8 \cdot 10} = 1,2 \text{ м} \quad (2.5)$$

где g – ускорение свободного падения;

H_m - наибольший ход поршня.

2.4 Масса шабота

В соответствии с технологическим назначением молота, задаемся кратностью масс для штамповочного молота 20...25 [2]. Определяем массу шабота m_2 .

$$m_2 = km_1 = 20 \cdot 2200 = 44000, \text{ кг.}$$

Скорость, которую приобретёт шабот после удара, по данным Савинова О.А. [6], составит:

$$v_2 = (1 + \varepsilon) \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1 = (1 + 0,2) \frac{2200}{2200 + 44000} \cdot 6,9 = 0,5 \text{ м/с,} \quad (2.6)$$

где ε – коэффициент восстановления. При ударе по заготовке, в зависимости от материала, температуры и вида технологической операции, меняется в диапазоне $\varepsilon=0,15...0,5$. Для штамповочных, при закрытой штамповке, $\varepsilon=0,15$.

2.5 Максимальное деформирующее

Максимальное деформирующее усилие можно определить по следующей формуле[5]:

$$P_{D_{\max}} = m_1 \cdot v_1^2 \frac{1 - \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)}{2 \cdot (S_\delta + S_{ш})} = 2200 \cdot 6,9^2 \cdot \frac{1 - \left(\frac{2200}{2200 + 44000} \right)^2}{2 \cdot (0,025 + 0,002)} = 1866 \text{ кН} \quad (2.7)$$

где S_δ – деформация поковки за один удар, для крупных поковок

$S_\delta = 0,025$ м;

$S_{ш}$ – смещение шабота в направлении удара, для жестких железобетонных фундаментов, с деревянной прокладкой между шаботом и фундаментным блоком, $S_{ш} = 0,002$ м.

Время удара при деформировании заготовки:

$$t_D = \frac{2 \cdot (S_\delta + S_{ш})}{v_1 \cdot \left(1 + \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)} = \frac{2 \cdot (0,025 + 0,003)}{6,9 \cdot \left(1 + \frac{2200}{2200 + 44000} \right)} = 0,008 \text{ с.} \quad (2.8)$$

3 Расчет проектировочных параметров паровоздушного МОЛОТА

3.1 Расчет диаметра цилиндра

Площадь цилиндра молота [5]:

$$F_{\text{ц}} = \frac{T_{\Sigma} / H_m - 0,9 \cdot G_1}{p - \frac{\psi}{100} \cdot H_m \cdot p_0 - p_0 - \alpha \cdot (p_1 - p_0)} =$$

$$= \frac{103,2 \cdot 10^3 / 1,2 - 0,9 \cdot 22000}{\left[0,6 - \frac{0,3}{100} \cdot 1,2 \cdot 0,1 - 0,1 - 0,8 \cdot (0,132 - 0,1) \right] \cdot 10^6} = 0,14 \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

где $F_{\text{ц}}$ – площадь цилиндра молота, м²;

T_{Σ} – полная эффективная энергия удара молота, Дж;

H_m – наибольший ход поршня, м;

G_1 – вес падающих частей, $G_1 = m_1 \cdot g = 2200 \cdot 10 = 22000 \text{ Н}$;

p – давление свежего пара, $p = 6 \text{ ат}$ (0,6 МПа);

p_1 – давление отработанного пара, $p_1 = 0,132 \text{ МПа}$;

p_0 – атмосферное давление, $p_0 = 0,1 \text{ МПа}$;

ψ – падение давления на 1 м хода падающих частей, $\psi = 0,3 \text{ МПа}$;

$$\alpha = \frac{D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2}{D_{\text{ц}}^2} = \frac{280^2 - 125^2}{280^2} = 0,8.$$

Диаметр цилиндра определяется по его площади:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{ц}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,14}{3,14}} = 0,42 \text{ м} \quad (3.2)$$

Диаметр штока рассчитывается по диаметру цилиндра с помощью принятого коэффициента α (рассчитывается выше), $\alpha = 0,8$ [5].

$$d_{\text{ш}} = D_{\text{ц}} \cdot \sqrt{1 - \alpha} = 0,42 \cdot \sqrt{1 - 0,8} = 0,2 \text{ м} \quad (3.3)$$

Площадь цилиндра молота в сечении [5]:

$$F_K = \frac{\pi \cdot (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,42^2 - 0,2^2)}{4} = 0,11 \text{ м}^2 \quad (3.4)$$

Кроме этого, определяется нижнее и верхнее вредные пространства, после чего рассчитывается высота цилиндра [5]:

$$H_{\text{ц}} = H_m + \varphi_n \cdot H_m + \varphi_v \cdot H_m = 1,2 + 0,09 \cdot 1,2 + 0,12 \cdot 1,2 = 1,5 \text{ м} \quad (3.4)$$

где φ_n – нижнее вредное пространство, $\varphi_n = 0,09$;

φ_v – верхнее вредное пространство, $\varphi_v = 0,12$.

3.2 Энергия удара молота

После расчета площадей цилиндра и кольцевой части поршня уточняется энергия удара молота [6]:

$$\begin{aligned} T_{\text{э}}' &= \left\{ F_{\text{ц}} \cdot \left[p - \frac{\psi \cdot H_m \cdot p_0}{100} - p_0 - \alpha(p_1 - p_0) \right] \cdot 10^6 + 0,9 \cdot G_1 \right\} \cdot H_m = \\ &= \left\{ 0,14 \cdot \left[0,6 - \frac{0,3 \cdot 1,2 \cdot 0,1}{100} - 0,1 - 0,8 \cdot (0,132 - 0,1) \right] \cdot 10^6 + 0,9 \cdot 22000 \right\} \cdot 1,2 = 86 \text{ кДж} \end{aligned} \quad (3.5)$$

$> T_{\text{y}}$

По уточненной энергии удара определяется уточненная скорость падающих частей молота в момент удара [6]:

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot T_{\text{y}}' / m_1} = \sqrt{2 \cdot 86 \cdot 10^3 / 2200} = 8,8 \text{ м/с.} \quad (3.6)$$

3.3 Подъемная сила и время цикла

Составляется уравнение баланса сил, действующих на поршень рабочего цилиндра:

$$P_1 + P_2 - P_{\text{mp}} - G_1 - P_3 - P_{\text{шн}} = 0, \quad (3.7)$$

где P_1 – подъемная сила нижнего пара, $P_1 = p \cdot F_K = 0,6 \cdot 10^6 \cdot 0,11 = 66 \text{ Н}$;

P_2 – подъемная сила от атмосферного давления:

$$P_2 = p_0 \cdot (1 - \alpha) \cdot F_B = 0,1 \cdot (1 - 0,8) \cdot 0,49 = 9,8 \text{ кН,}$$

где F_6 – площадь рабочей поверхности бабы; $F_A = 0,7 \cdot 0,7 = 0,49 \text{ м}^2$, при условии, что баба квадратная.

$P_{тр}$ – сила трения суммируется от трения поршневых колец о стенки цилиндра, а также в грундбуксе штока и направляющих бабы, примерно, $P_{mp} \geq 0,1 \cdot G_1 = 0,1 \cdot 22000 = 2,2 \text{ кН}$;

P_3 – сила сопротивления отработанного пара:

$$P_3 = p_1 \cdot F_{\delta} = 0,132 \cdot 10^6 \cdot 0,14 = 18,5 \text{ кН};$$

$P_{ин}$ – сила инерции, $P_{ин} = m_1 \cdot a$, Н.

Из составленного уравнения находится значение ускорения «а» при подъёме падающих частей молота.

$$\begin{aligned} a &= \frac{P_1 + P_2 - F_{mp} - G_1 - P_3}{m_1} = \\ &= \frac{(66 + 9,8 - 2,2 - 22 - 18,5) \cdot 10^3}{2200} = 15 \text{ м/с}^2 \end{aligned} \quad (3.8)$$

Найденное значение силы инерции должно быть больше нуля - это условие возникновения результирующей подъемной силы (подвижные части под действием пара должны двигаться вверх с ускорением).

Зная ускорение, находим время движения поршня вверх t_a :

$$t_a = \sqrt{\frac{2H_m}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,2}{15}} = 0,4 \text{ с.} \quad (4.0)$$

Время движения подвижных частей вниз:

$$t_n = \sqrt{\frac{2 \cdot m_1 \cdot H_m}{P_n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2200 \cdot 1,2}{79,5 \cdot 10^3}} = 0,258 \text{ с} \quad (4.1)$$

где P_n – результирующая сила при движении вниз, Н:

$$\begin{aligned} P_i &= P_4 + G_1 - P_5 - P_2 - P_{\delta\delta} = \\ &= 84 + 22 - 14,5 - 9,8 - 2,2 = 79,5 \text{ кН}, \end{aligned} \quad (4.2)$$

где P_4 – сила, действующая на рабочий поршень от свежего пара:

$$P_4 = p \cdot F_{\delta} = 0,6 \cdot 10^6 \cdot 0,14 = 84 \text{ кН};$$

P_5 – сила сопротивления отработанного пара:

$$P_5 = \delta_1 \cdot F_{\hat{E}} = 0,132 \cdot 10^6 \cdot 0,11 = 14,5 \text{ кН}.$$

Время машинного цикла молота t_m , сек:

$$t_m = t_n + t_b + t_d = 0,258 + 0,4 + 0,008 = 0,666 \text{ с.} \quad (4.3)$$

где t_d – время удара при деформировании заготовки.

Наибольшая частота последовательных ударов молота в минуту:

$$n_m = 60/t_m = 60/0,666 = 90 \text{ уд/мин.} \quad (4.4)$$

4 Расчет основных узлов и деталей молота

4.1 Расчет цилиндра

Цилиндры штамповочных молотов отливают из углеродистой стали. Внутрь стального цилиндра вставляются чугунные втулки (гильзы)[1]. Толщина стального цилиндра составляет [5]

$$S_{\text{ст. ц.}} = 0,15 \cdot D_{\text{ц}} = 0,15 \cdot 0,42 = 0,06 \text{ м.}$$

Толщина гильзы (стальной втулки) составляет [5]

$$S_{\text{чуг. вт.}} = 0,04 \cdot D_{\text{ц}} = 0,043 \cdot 0,3 = 0,017 \text{ м.}$$

При этом толщина стенок должна выдерживать не менее трёх переточек при ремонтах. За каждую переточку снимается не менее 5 мм толщины на сторону. Минимальная толщина втулки после переточек должна оставаться 12...20 мм [2]. Принимаем $S_{\text{ст. ц.}} = 0,30$ мм.

Прочностной расчет цилиндра [5]:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\sqrt{3} \cdot r_H^2 \cdot p'_1}{r_H^2 - r_B^2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,21^2 \cdot 2,5 \cdot 10^5}{0,21^2 - 0,04^2} = 0,45 \text{ МПа} \quad (4.1)$$

$$< [\sigma] = 80 \div 100 \text{ МПа [2],}$$

где r_H – наружный радиус цилиндра, $r_H = \frac{D_{\text{ц}}}{2} = \frac{0,42}{2} = 0,21 \text{ м}$

r_B – внутренний радиус цилиндра, $r_B = \frac{D_{\text{ц}}}{2} = \frac{0,08}{2} = 0,04 \text{ м}$

p'_1 – давление воздуха в полостях цилиндра, $p'_1 = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

4.2 Расчёт поршня, штока и бабы

Зазор односторонний между поршнем и гильзой для штамповочного молота – 0,35...0,7 мм [4].

Принимаем $z = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Высота поршня $H_{\text{п}} = 0,126 \text{ м.}$ Высота кольца поршня $H_{\text{кол}} = 0,0093 \text{ м.}$ Ширина кольца $B_{\text{кол}} = 0,014 \text{ м.}$

$$\begin{aligned}
m_{II} &= \rho \cdot V_{II} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot H_{II} \cdot (D_{II} - 2 \cdot z)^2}{4} = \\
&= 7800 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,126 \cdot (0,42 - 2 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 109,31 \text{ кг.}
\end{aligned}
\tag{4.2}$$

$$m_{II} \leq 0,05 m_1$$

$$m_{II} = 109,31 \text{ кг} \leq 0,05 \cdot 2200 = 110 \text{ кг.}$$

Шток изготавливают из легированной стали 35ХГСА [1].

Напряжения сжатия, возникающие в момент удара в свободной части штока, без учёта напряжений в его конусной части, запрессованной в бабе:

$$\begin{aligned}
\sigma_{сж} &= \frac{v_1 \cdot E}{c} \left(\sqrt{\left(\frac{G_{II}}{G_{III}} + 3 \right) \cdot \left[1 - \frac{m_2 \cdot (1 - \varepsilon^2)}{m_1 + m_2} + \frac{(m_1 - m_2 \cdot \varepsilon)^2}{(m_1 + m_2)^2} \right]} \right) = \\
&= \frac{6,9 \cdot 2 \cdot 10^{11}}{5200} \left(\sqrt{\left(\frac{1093}{9823} + 3 \right) \cdot \left[1 - \frac{44000 \cdot (1 - 0,5^2)}{2200 + 44000} + \frac{(2200 - 44000 \cdot 0,5)^2}{(2200 + 44000)^2} \right]} \right) = 321 \text{ МПа}
\end{aligned}
\tag{4.3}$$

где c – скорость распространения упругой волны в штоке,
 $c = 5200$ м/с.

G_{II} – вес поршня, $G_{II} = m_{II} \cdot g = 109,3 \cdot 10 = 1093$ Н,

G_{III} – вес штока, $G_{III} = m_{III} \cdot g = 982,3 \cdot 10 = 9823$ Н.

Суммарное напряжение от изгиба в нижнем сечении штока:

$$\begin{aligned}
\sigma_u &= \frac{2 \cdot E \cdot D_{III} \cdot \lambda}{l_{III} \cdot l_{\delta}} \left(2 + 1,5 \frac{l_{\delta}}{l_u} \right) = \\
&= \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,2 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3}}{2,46 \cdot 0,8} \left(2 + 1,5 \cdot \frac{0,8}{2,46} \right) = 61 \text{ МПа}
\end{aligned}
\tag{4.4}$$

Максимальное напряжение в штоке:

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{сж} + \sigma_u \leq [\sigma] = 321 + 61 = 382 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 463 \text{ МПа} . \tag{4.5}$$

Сталь 35ХГСА по ГОСТ 4543-71: $\sigma_T = 1300$ МПа [6]

$$\sigma_B = 1650 \text{ МПа [6]}$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{-1}}{n} = \frac{555}{1,2} = 463 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{-1} = (0,35 \cdot \sigma_T + 100) = (0,35 \cdot 1300 + 100) = 555 \text{ МПа [2].}$$

Проверяется на контактную прочность поверхность в месте запрессовки штока в бабу.

$$q = \frac{\rho \cdot c \cdot v_1 \cdot \varepsilon \cdot d_{ш}}{\left(1 - \frac{h_K \cdot \operatorname{tg} \alpha}{d_{ш}}\right) \cdot h_K} \leq [\sigma_{см}], \quad (4.6)$$

$$q = \frac{7800 \cdot 5200 \cdot 6,9 \cdot 0,8 \cdot 0,2}{\left(1 - \frac{0,47 \cdot \operatorname{tg} 2^\circ}{0,2}\right) \cdot 0,47} = 104 \text{ МПа} \leq [\sigma_{см}] = 1320 \text{ МПа [6],}$$

где ρ – плотность материала бабы, $\rho = 7,8 \text{ кг/м}^3$;

c – скорость распространения упругой волны, $c = 5200 \text{ м/с}$;

ε – коэффициент восстановления для холостого удара, как наиболее жесткого, $\varepsilon = 0,8$ [2];

α – угол конуса в соединении штока с бабой, $\alpha = 2^\circ$.

h_K – длина контакта в соединении штока с бабой, $h_K = 0,47 \text{ м}$.

5 Расчет на прочность штока в Autodesk Inventor

Для подтверждения выполненных расчетов штока проведем расчет вала на прочность в программе Inventor с использованием инженерного модуля для прочностного расчета

Порядок расчета вала следующий: сначала по заданному эскизу (рисунок 2) создаем 3D модель штока в программе Inventor, которая показана на рисунке 3.

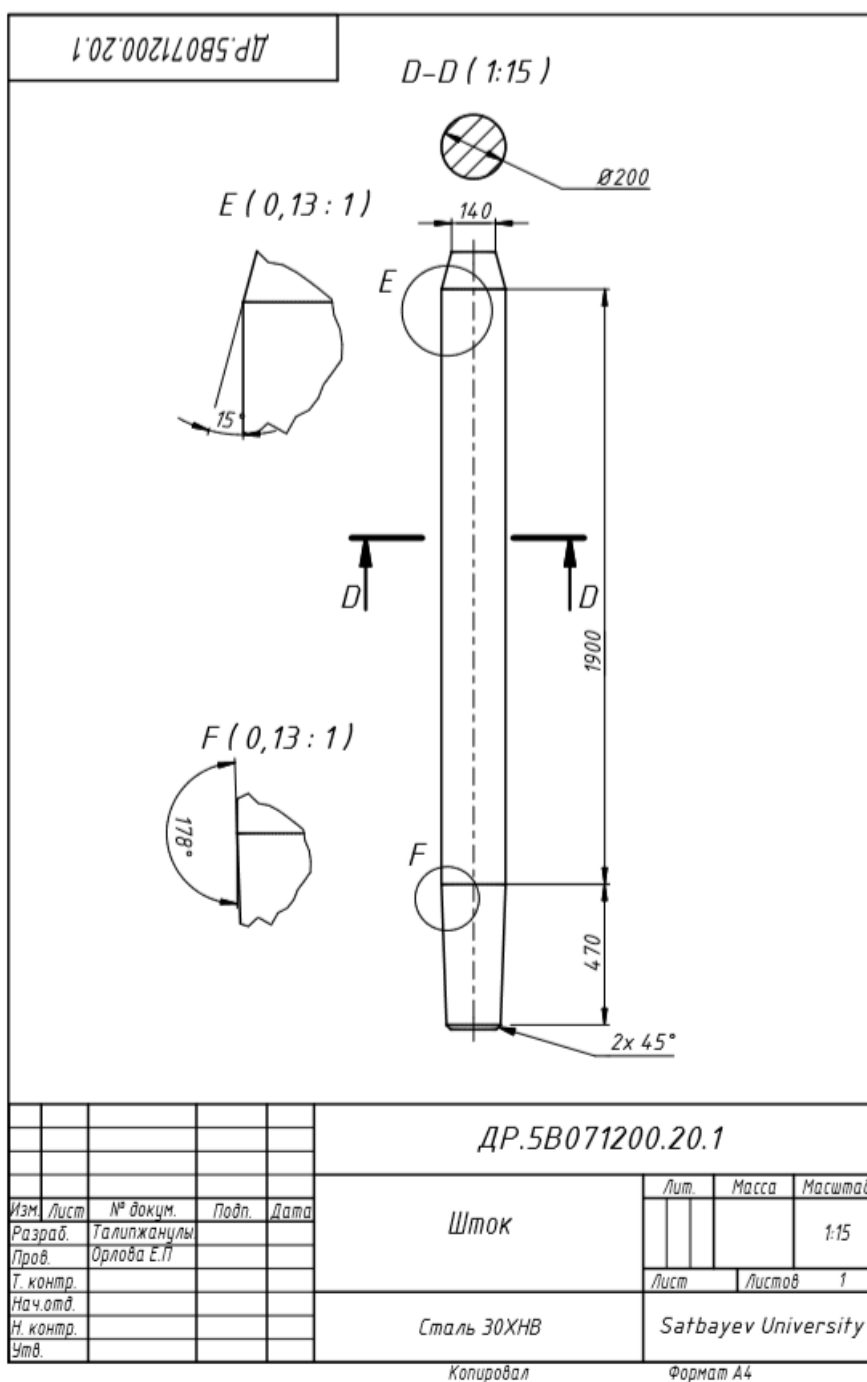


Рисунок 2 – 2D чертеж штока

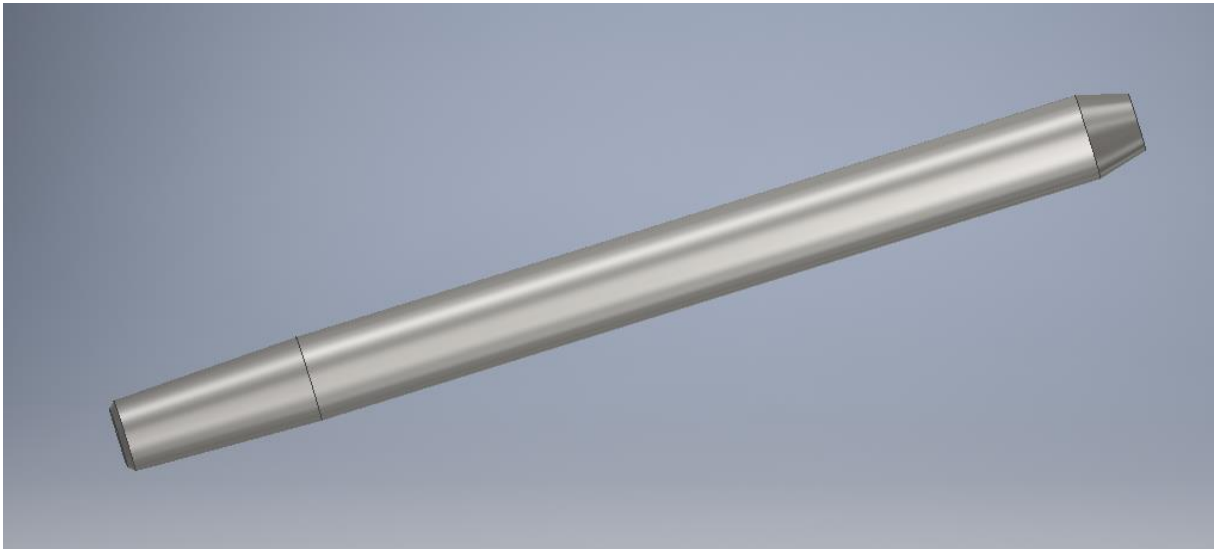


Рисунок 3- 3D модель штока

На созданную 3D модель штока нажимаем кнопку «создать исследование», затем устанавливаем закрепление. Затем прикладываем действующую нагрузку. Максимальное усилие, которое действует на шток, равно номинальному усилию $P=1866$ кН. Выделяем поверхность, на которую будем прикладывать силу и задаем величину, как показано на рисунке 4.

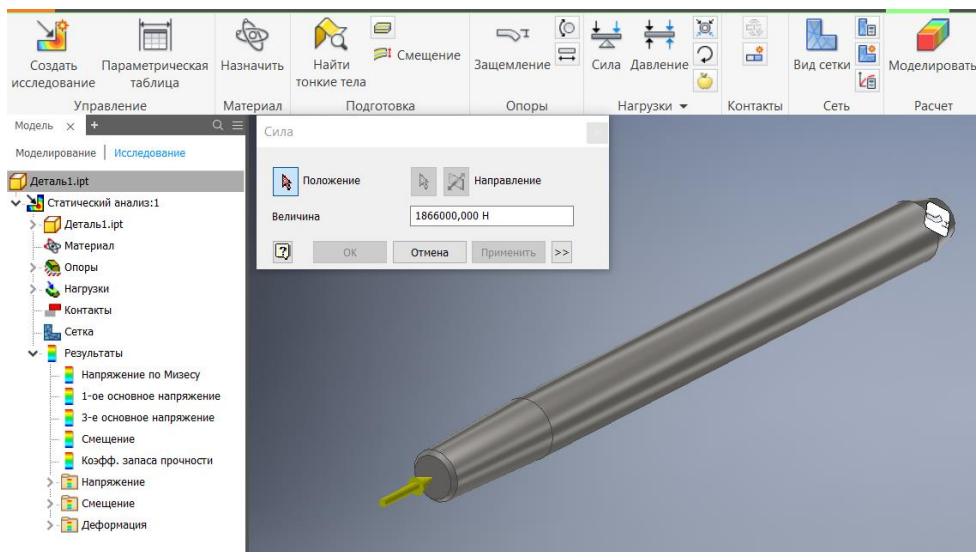


Рисунок 4 - Закрепления штока и задание нагрузки

Следующий шаг - задаем параметры материала штока 30ХНВ и генерируем КЭ сетку, командой настройка сетки, где указывается средний размер элементов, минимальный размер элементов, коэффициент разнородности, максимальный угол поворота как показано на рисунке 5.

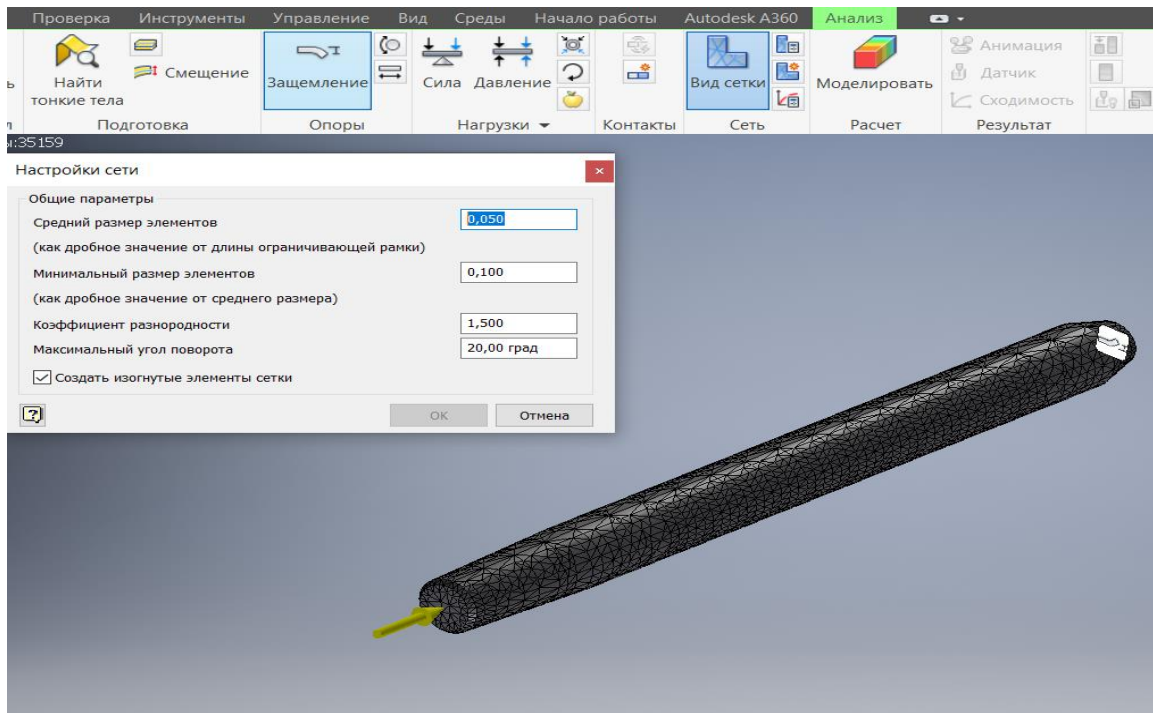


Рисунок 5 - Генерация конечно-элементной сетки

Затем рассчитываем шток, выбираем тип расчета – статистический, и затем получаем отчеты, которые показаны на рисунке 6-8.

▣ **Результат**

Имя	Минимальная	Максимальная
Объем	78000300 мм ³	
Масса	602,943 кг	
Напряжение по Мизесу	15,5603 МПа	201,536 МПа
1-ое основное напряжение	-115,158 МПа	36,8507 МПа
3-е основное напряжение	-324,548 МПа	2,40935 МПа
Смещение	0 мм	0,743136 мм
Коэфф. запаса прочности	1,43895 бр	15 бр
Напряжение XX	-131,912 МПа	22,4948 МПа
Напряжение XY	-53,7684 МПа	47,7383 МПа
Напряжение XZ	-18,9282 МПа	18,9837 МПа
Напряжение YY	-307,794 МПа	11,98 МПа
Напряжение YZ	-34,9965 МПа	32,0233 МПа
Напряжение ZZ	-131,912 МПа	23,3233 МПа
Смещение по оси X	-0,0116283 мм	0,0104317 мм
Смещение по оси Y	0 мм	0,743136 мм
Смещение по оси Z	-0,0112396 мм	0,0108638 мм
Эквивалентная деформация	0,0000719446 бр	0,00100119 бр
1-ая основная деформация	-0,00000590887 бр	0,000314327 бр
3-я основная деформация	-0,0012216 бр	-0,0000327139 бр
Деформация XX	-0,0000534581 бр	0,000291563 бр
Деформация XY	-0,00034097 бр	0,00030273 бр
Деформация XZ	-0,000120033 бр	0,000120385 бр
Деформация YY	-0,00111535 бр	0,0000314138 бр
Деформация YZ	-0,000221929 бр	0,000203075 бр
Деформация ZZ	-0,0000375469 бр	0,00028221 бр

Рисунок 6 - Отчет статистического анализа

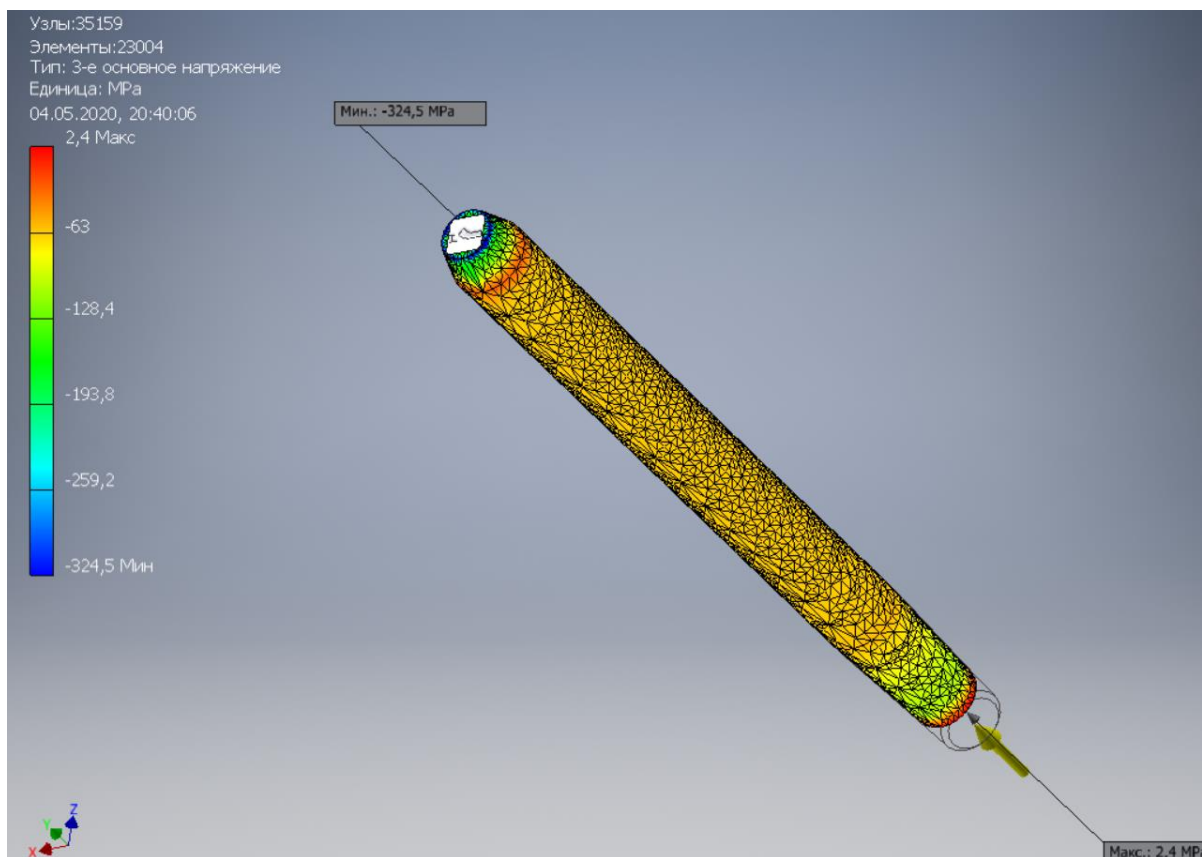


Рисунок 7 - Результаты расчета напряжений

Из расчета видно, что максимальное напряжение возникает на конце штока и равно 342,5МПа что является допустимым для заданного материала, величиной 490МПа.

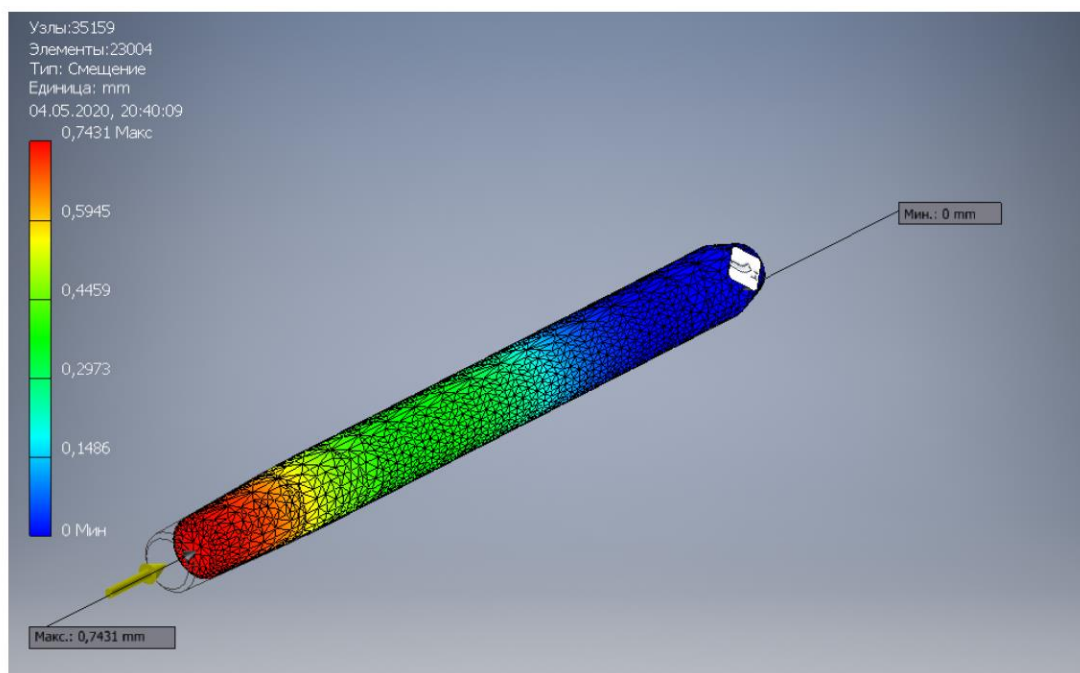


Рисунок 8 - Результаты расчета перемещений

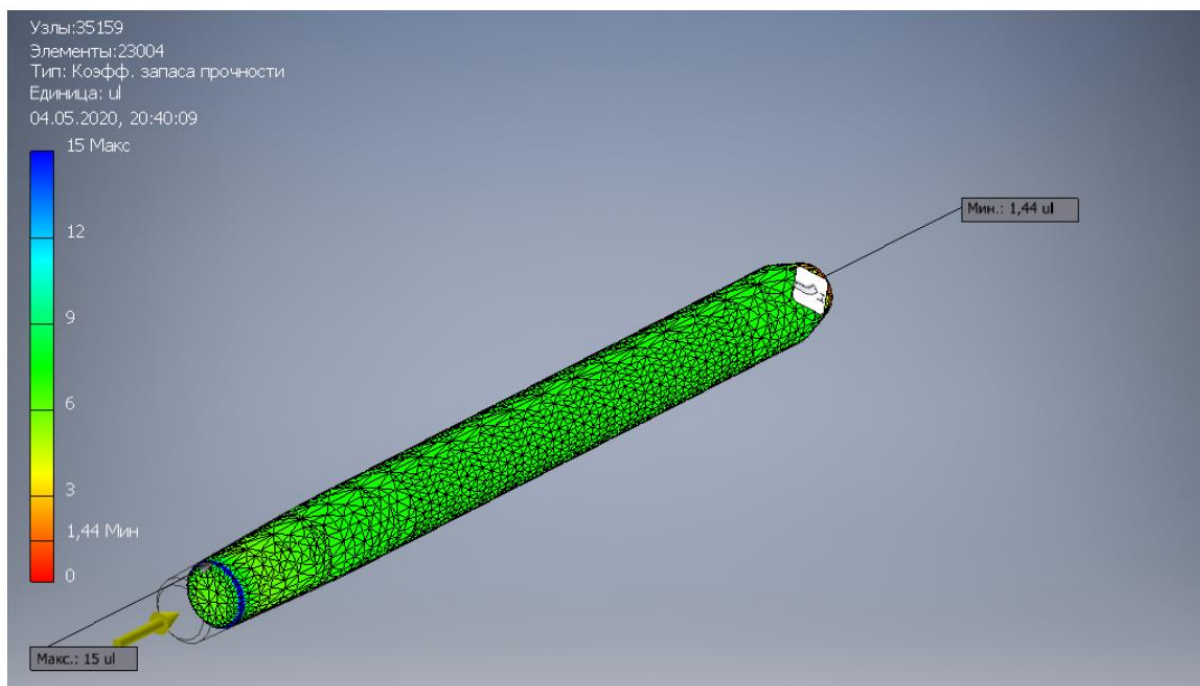


Рисунок 9 - Результаты расчета коэффициентов запаса

Минимальное значение коэффициента запаса $n=1,44$, что не превышает допустимое значение, которое равно 1,6.

Выводы по разнице значений напряжений:

Величины, полученные аналитически и при помощи программы результаты напряжений для штока, отличаются:

Величина напряжения штока, полученная в программе в $463/342.5 = 1,3$ раз меньше, чем результат полученный аналитически;

Результаты отличаются по следующим причинам:

Различие методов расчетов параметров;

Погрешности, возникшие при аналитическом расчете;

Величина стороны конечного элемента, взятого в программе при разбиении была недостаточной большой, чем меньше сторона конечного элемента - тем точнее расчет;

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По выполненной работе, отталкиваясь от материала также габаритов элемента, составляющие паровоздушного молота. В ходе работы использовали программы «AutoCAD», «Inventor». После проверили правильность проектирования деталей паровоздушного молота проверив наиболее ответственные (шток) на прочность, рассчитав наибольшее напряжения для данной деталей и коэффициент запаса на прочность. Изучили по какой причине значения напряжений, полученные аналитически и при помощи программы, различаются.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Банкетов А.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование: учеб. пособие / А.Н. Банкетов, Е.Н. Ланский. - М.: Машиностроение, 1982. – 574 с.
- 2 Воскресенский В.А. Молоты: метод. указ. / В.А. Воскресенский, В.Г. Рябов, О.В. Рябцев. СибГИУ. – Новокузнецк, 2006. – 33 с.
- 3 Живов Л.И. и Овчиников А.Г. Оборудование кузнечно-прессовых цехов: учеб. пособие. / Л.И. Живов, А.Г. Овчиников, Е.Н. Складчиков. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 560 с.: ил.
- 4 Залесский В.И. Оборудование кузнечно-прессовых цехов: учеб. пособ. / В.И. Залесский – М.: Высшая школа, 1973. – 630 с.
- 5 Зиновьева В.А. Технический справочник.: учеб. пособ. / В.А. Зиновьева. – М. : Изд. Техничко-теоретический литературы, 1950. – 768 с.
- 6 Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов по машины и их расчет: учеб. пособ. / О.А. Савинов. – 2-е изд. – Л.: Стройиздат, 1979. – 200 с., ил.