

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»

Ысқақов Әділше Манарбекұлы

«Проектирование гидравлического пресса и его узлов с использованием  
CAD/CAE»

**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»

5B071200 – Машиностроение



**ЗАДАНИЕ**

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Ыскаков Әділше Манарбекұлы

Тема: Проектирование гидравлического пресса и его узлов с использованием CAD/CAE

приказом Ректора Университета № 1252-п от "06" ноября 2018г.

Срок сдачи законченной работы

"3" мая 2019г.

Исходные данные к дипломной работе: техническая характеристика гидравлического пресса модели П6334А

Краткое содержание дипломной работы:

а) Принцип работы гидравлического пресса

б) Техническая характеристика гидравлического пресса модели П6334А

в) Проектирование и расчет основных узлов пресса

г) Расчет на прочность с использованием программы КОМПАС-3D

Перечень графического материала: чертеж станины – 1 лист формата А4, чертеж гидроцилиндра – 1 лист формата А4, гидравлическая схема пресса – 1 лист формата А4, представлены \_\_\_ слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 4 наименований

а) Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для студ. высш. Учеб. Заведений / Ю.А.Бочаров. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 480 с.

б) Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для вузов / Под ред. Л.И. Живова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 560 с: ил.

в) Орлов П.Г. Штамповка деталей на листоштамповочных автоматах (основы теории и расчета). – М.: Машиностроение, 1984 – 160 с. ил.

г) Руководство по эксплуатации П6334А.00.001РЭ

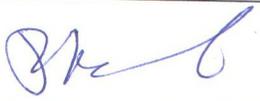
## ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
Поиск информации Обзор литературы Общая часть	08.02.19-09.03.19	выполнено
Сведения о гидравлическом одностоечном правильно-запрессовочном прессе модели П6334А Проектирование и расчет основных узлов пресса	09.03.19-12.04.19	выполнено
Расчет на прочность с использованием программы	15.04.19-26.04.19	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 кафедры	29.04.2019	

Научный руководитель \_\_\_\_\_  Орлова Е.П.

Задание принял к исполнению обучающийся \_\_\_\_\_  Бискаков Э.М.

Дата

"23" ноября 2018 г.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассмотрены вопросы проектирования гидравлического пресса и его узлов с использованием САД/САЕ.

Целью дипломной работы является изучение систем автоматизированного проектирования гидравлических прессов с дальнейшим его внедрением в производство, которое позволит упростить проектирование прессов, получить экономическую выгоду за счет уменьшения количества используемого материала без потери прочности всех узлов пресса.

В процессе выполнения работы были изучены общие сведения о прессе, его конструктивные особенности.

Были произведены расчеты основных конструктивных размеров, а также расчеты на прочность, которые должны были соответствовать допустимым значениям, установленным ГОСТом.

Был выполнен анализ полученных результатов в программе КОМПАС-3D в разделе «АРМ FEM: Прочностной анализ». 3D-модель гидроцилиндра, полученная при проектировании, была исследована на возникающие напряжения, деформации и нагрузки.

После полученных результатов процесс проектирования гидравлического пресса и его узлов был значительно упрощен за счет систем автоматизированного производства, что в будущем позволит ускорить процесс проектирования деталей, при этом уменьшив экономические затраты на их производство.

## АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыстың тақырыбы CAD/CAE қолдану арқылы гидравликалық престі және оның тораптарын жобалау болып табылады.

Дипломдық жұмыстың мақсаты гидравликалық сығымдағыштарды автоматтандырылған жобалау жүйесін зерттеу, оны өндіріске енгізу болып табылады, ол сығымдағыштарды жобалауды жеңілдетуге, сығымдағыштардың барлық тораптарының беріктігін жоғалтпай пайдаланылатын материал санын азайту есебінен экономикалық пайда алуға мүмкіндік береді.

Жұмысты орындау барысында баспасөз туралы жалпы мәліметтер, оның құрылымдық ерекшеліктері зерттелді.

Негізгі конструктивтік өлшемдердің есептері, сондай-ақ ГОСТ белгілеген рұқсат етілген мәндерге сәйкес келуі тиіс беріктікке есептеулер жүргізілді.

КОМПАС-3D бағдарламасында "APM FEM: беріктік талдау" бөлімінде алынған нәтижелерге талдау жасалды. Жобалау кезінде алынған гидроцилиндрдің 3D-моделі пайда болатын кернеулер, деформациялар мен жүктемелерге зерттелді.

Алынған нәтижеден кейін гидравликалық престі және оның тораптарын жобалау процесі автоматтандырылған өндіріс жүйесі есебінен едәуір жеңілдетілді, бұл болашақта бөлшектерді жобалау процесін жылдамдатуға мүмкіндік береді, бұл ретте оларды өндіруге арналған экономикалық шығындарды азайтады.

## ANNOTATION

Questions of computer engineering of a hydraulic press and its components using CAD / CAE were considered in this diploma work.

The aim of the diploma work is the study of computer-aided design of hydraulic presses with its further introduction into production, which will simplify the design of presses to obtain economic benefits.

General information about the press, its design features.

Calculations were made of the main structural dimensions, which must also comply with the permissible values established by GOST.

The analysis of the obtained results in the KOMPIAC-3D program in the section “APM FEM: Strength Analysis” was performed. The 3D-model of the hydraulic cylinder, obtained during the design, was examined for the presence of stress, strain and load.

After the results were obtained, hydraulic equipment was developed, which will allow in the future to speed up the design of parts, which will reduce the economic costs of their production.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	10
1	Сведения о гидравлическом одностоечном правильно-запрессовочном прессе модели П6334А	11
1.1	Общие сведения	11
1.2	Техническая характеристика прессы модели П6334А	15
2	Проектирование и расчет основных узлов прессы	16
2.1	Конструктивные особенности гидравлических прессов	16
2.2	Расчет на прочность основных деталей прессы	22
3	Расчет на прочность с использованием программы КОМПАС-3D	26
	Заключение	30
	Список использованной литературы	31
	Приложение А	
	Приложение В	
	Приложение С	

## ВВЕДЕНИЕ

Гидравлические прессы — являются основным оборудованием цехов, существующих в наше время, по прессованию металлов и сплавов.

Основными параметрами гидравлических прессов, в общности определяющими их технологические возможности и конструктивные особенности, которые являются собой номинальное усилие, рабочий ход и скорость движения прессующей траверсы, и конечно, на размеры контейнера [1].

Произведение максимального рабочего давления жидкости на сумму площадей плунжеров рабочих цилиндров дает в итоге номинальное усилие прессы. Номинальное усилие - это условная характеристика самого гидравлического прессы. Однако оно не учитывает возникающие потери на преодоление сил трения, гидравлические потери и пр. Действительное рабочее усилие прессы, которое он развивает в процессе прессования, составляет часть номинального усилия. Это означает, что наибольшее усилие прессования, которое рассчитано по всему принятому для данного прессы сортаменту прессы-изделий, должно составлять в пределах 70—90 % номинального усилия [3].

Классификация гидравлических прессов для прессования металлов и сплавов зависит от технологического назначения, а также метода истечения металла при прессовании, его конструктивного оформления и типа привода.

В соответствии с особенностями прессования прессы-изделий, имеющих разную форму поперечного сечения, гидравлические прессы делятся на прутково-профильные и трубопрофильные. Прутково-профильные прессы имеют только один самостоятельный привод инструмента при рабочем ходе — привод прессы-штемпеля (рабочий цилиндр) и предназначены для получения прутков, профилей сплошного сечения и полых профилей, прессыуемых на подвижной игле (жестко связанной с прессы-штемпелем) или со сваркой через язычковые матрицы [3].

# 1 Сведения о гидравлическом одностоечном правильно-запрессовочном прессе модели П6334А

## 1.1 Общие сведения

Гидравлический пресс, предназначен для выполнения широкого круга работ: запрессовки-выпрессовки, прошивки, калибровки, правки, листовой штамповки без глубокой вытяжки.

Принцип работы гидравлического пресса основан на законе Паскаля, который утверждает, что давление ( $P$ ) в ограниченном объеме, вызванное силой ( $F_1$ ), в области ( $A_1$ ), передается без уменьшения, вызывая силу ( $F_2$ ), в области ( $A_2$ ). Этот закон может применяться для увеличения небольшой силы путем соотношения площадей, чтобы дать большую силу  $F_2 = F_1 (A_2 / A_1)$  [1].

Гидравлический пресс состоит из основных компонентов, используемых в гидравлической системе, которая включает в себя цилиндр, поршни, гидравлические трубы и т. д. Работа этого пресса очень проста. Система состоит из двух цилиндров, жидкость (обычно масло) заливается в цилиндр, имеющий небольшой диаметр. Этот цилиндр известен как рабочий цилиндр.

Поршень в этом цилиндре сжимает жидкость, которая течет по трубе в больший цилиндр. Большой цилиндр известен как главный цилиндр. На поршень большего цилиндра оказывается давление, и под этим давлением он выталкивается [3].

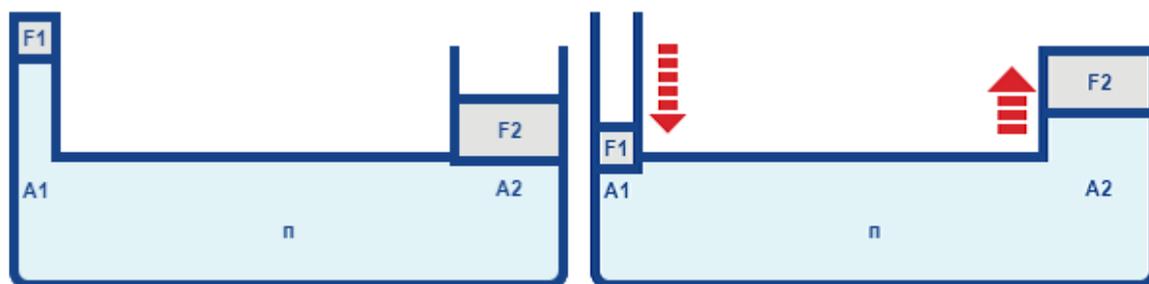


Рисунок 1 – Принцип работы гидравлического пресса [4]

Основные узлы пресса — станина, прессующая траверса, рабочий и форсирующий цилиндры, контейнер с контейнеродержателем и цилиндрами передвижения контейнера, матрицедержатель и устройство для отделения прессостатка от изделия — ножницы [1].

Станина состоит из неподвижных передней и задней поперечин, соединенных колоннами в жесткую раму, образующую замкнутый силовой контур пресса, и устанавливается на фундаментной плите. Заднюю поперечину, в которой монтируют все цилиндры привода прессующей траверсы, жестко крепят на плите от продольных и поперечных перемещений с помощью шпонок и клиньев. Переднюю поперечину, в которой размещены матрицедержатель, ножницы для отделения прессостатка и цилиндры передвижения контейнера, не

крепят к фундаментной плите. Ее устанавливают на призматических направляющих с помощью винтовых домкратов, которыми производят выверку ее положения относительно оси пресса [3].

На фундаментной плите между задней и передней поперечинами монтируют призматические направляющие, по которым скользят опорные башмаки прессующей траверсы и контейнеродержателя при их перемещениях в цикле прессования. Башмаки снабжены винтовыми домкратами и служат для установки прессующей траверсы и контейнеродержателя по оси пресса.

Качество пресс-изделий, производительность и эксплуатационные характеристики пресса в значительной степени зависят от его конструктивного исполнения: направления движения плунжера, типа матрицедержателя, конструкции станины, способа передвижения контейнера и вида привода. Наибольшее количество гидравлических прессов для прессования выполнено в горизонтальном исполнении и лишь прессы небольших мощностей, преимущественно для прессования труб, выполнены вертикальными.

Привод гидравлических прессов для прессования металлов и сплавов состоит из следующих основных элементов: источников жидкости высокого давления (насосов), системы управления—распределительных и регулирующих устройств, приемников жидкости (баков), аккумуляторов, трубопроводов с арматурой и рабочей жидкости. В прессах получили распространение гидравлические приводы двух типов: насосный (насосный безаккумуляторный) и от насосно-аккумуляторной станции (НАС) [3].

Гидравлический пресс, может применяться как в производственных, так и в ремонтных подразделениях и мастерских.

По особому заказу пресс может оснащаться правильным столом и оснасткой.

Основным узлом пресса, на котором крепятся другие узлы, является станина [1].

Станина сварена из листового проката, форма станины С-образная. Сверху и сзади станина закрыта обшивкой. На боковых листах станины выполнены несколько люков:

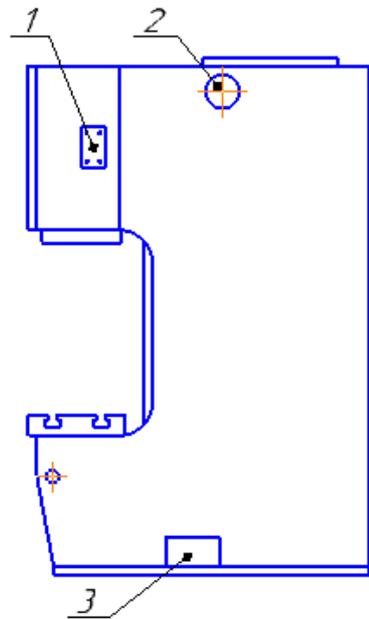
- 1 - люк для доступа к верхнему кулачку механизма;
- 2 - два люка, закрытые крышками, для зачаливания пресса;
- 3 - два люка, закрытые крышками, для крепления гидроагрегата на станине.

Цилиндр поршневого типа, выполненный из поковки, крепится в верхней консоли станины посредством полуколец 9 и гайки 6. На стальной шток 7 насажен чугунный поршень 5, с поршневыми кольцами 4.

Штоковую полость уплотняют резиновые манжеты 8, шевронного типа подтянутые фланцем 1. Поршневая полость уплотнена манжетой 2 воротникового типа [1].

При разборке и сборке цилиндра для заправки поршня с кольцами в цилиндр следует пользоваться специальной втулкой.

Фиксация штока в крайнем верхнем положении осуществляется винтом. Вверху имеется воздухоотпускная пробка 3.



1 - лок для доступа к верхнему кулачку механизма,  
 2 - два лок, закрытые крышками, для зачистки прессы,  
 3 - два лок, закрытые крышками, для крепления гидрозрезата на станине.

Рисунок 2 - Станина

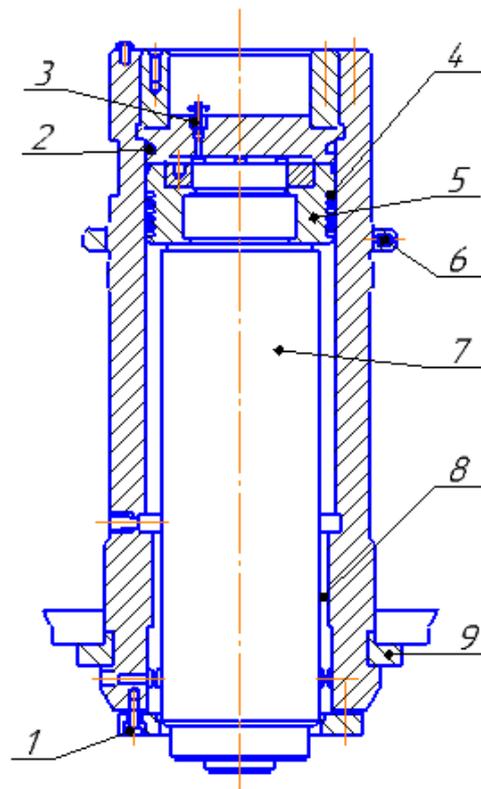


Рисунок 3 – Цилиндр

К распределительному золотнику и возвратному штырю крепится планка, к которой присоединены тяга и возвратная пружина последняя через регулируемый винт крепится к станине. Тяга другим концом присоединена к рычагу, который тягой соединен с осью. На оси свободно вращаются рычаги и (на рычаге жестко закреплена левая рукоятка), на которых закреплены кулачки, воздействующие на ромб [3].

На той же оси свободно вращаются рамка (в которой закреплена правая рукоятка), центрирующаяся в нейтральном положении двумя пружинами.

Рамка закрыта кожухом. К ползуну крепится модификатор. С модификатором связана штанга на который закреплены кулачки. Кулачки могут быть закреплены на разной высоте по штанге и служат для ограничения хода штока вверх и вниз. Штанга и возвратный штырь ходят в направляющей втулке. На штанге размещен механизм коротких ходов. Пружина вместе со штырем служит упором для планки при пуске пресса. Упоры ограничивают ход планки [1].

## 1.2 Техническая характеристика пресса модели П6334А

Техническая характеристика гидравлического пресса модели П6334А представлена в таблице 1. Данная таблица показывает основные параметры пресса П6334А, которые были использованы при расчетах [3].

Таблица 1 - Основные параметры гидравлического пресса модели П6334А

<b>Наименование параметра</b>	<b>П6334</b>
<b>Основные параметры пресса</b>	
Номинальное усилие пресса, кН (т)	2500 (250)
Наибольший ход штока, мм	500
Наибольшее расстояние между столом и штоком - открытая высота пресса, мм	800
Расстояние от оси штока до станины (вылет), мм	400
Скорость штока - рабочий ход, мм/сек	4,5
Скорость штока - холостой ход, мм/сек	29
Скорость штока - возвратный ход, мм/сек	70
Размеры стола, мм	1000 x 630
Размеры проема в столе, мм	200 x 415
Размеры съемного правильного стола, мм	2500 x 600
Масса съемного правильного стола, кг	960
Масса правильного инструмента, кг	195
Высота стола над уровнем пола, мм	745
Номинальное рабочее давление жидкости, кг/см <sup>2</sup>	250
<b>Электрооборудование</b>	
Количество электродвигателей	1
Электродвигатель главного привода, кВт	18,5
<b>Габариты и масса пресса</b>	
Габариты пресса (длина ширина высота), мм	1250 x 2170 x 3150
Масса станка, кг	10940

## 2 Проектирование и расчет основных узлов пресса

### 2.1 Конструктивные особенности гидравлических прессов

Гидравлические прессы (ГП), используемые для монтажно-запрессовочных работ, имеют три очень важных преимущества перед другими типами прессов: постоянство нагружения ползуна и его скорости движения, возможность получения больших рабочих ходов. Благодаря этому они находят наибольшее применение при разборке и сборке машин.

Серийные ГП простого действия имеют насосно-безаккумуляторный привод, одностоечную сварную конструкцию с-образной формы и оборудованы необходимыми средствами механизации и автоматизации. Общий вид пресса модели П6334А показан на рисунке 4, а на рисунке 5 приведена его гидравлическая схема [1].

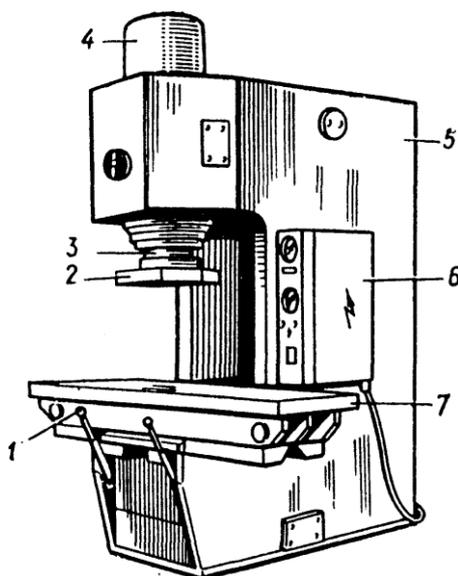
Достоинством одностоечных ГП является свободный доступ к рабочей зоне с трех сторон, т.н. открытое рабочее пространство. Следствием является их широкая универсальность. ГП можно располагать вертикально и горизонтально.

Основной недостаток одностоечных ГП - большая податливость с-образной станины под нагрузкой. Это отражается на их технологической точности.

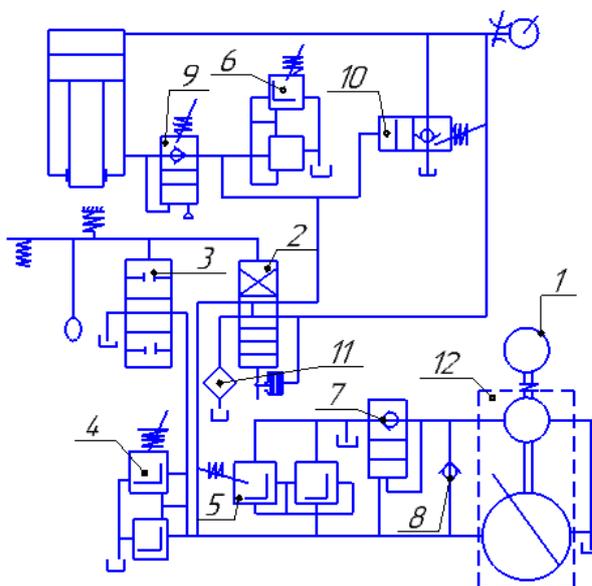
Принцип работы ГП следующий. При включении насоса масло под давлением подается в распределительный трехпозиционный кран. При среднем положении рукоятки крана масло идет на слив в гидробак. При повороте рукоятки в крайнее правое положение масло поступает через запорный кран в бесштоковую полость цилиндра подъемника, в результате чего последний приводится в рабочее состояние. В этот момент масло из штоковой полости цилиндра через кран поступает на слив. Заданное положение подъемника фиксируется закрытием крана. Давление масла в цилиндре регулируется предохранительным клапаном с переливным золотником, включенным в трубопровод, соединяющий штоковую и бесштоковую полости цилиндра. Благодаря наличию обратных клапанов при соответствующей настройке предохранительного клапана обеспечивается постоянное давление масла в обеих полостях цилиндра [3].

На ломающейся стреле подъемника с помощью блочной системы подвешен силовой гидроцилиндр. Для его подъема и опускания при ориентации в отверстия детали служит механизм подъема. Питание гидроцилиндра осуществляется насосом. При включенном электромагните четырехходового золотника масло от насоса поступает в штоковую полость цилиндра, обеспечивая его рабочий ход. При этом втулка запрессовывается в корпусную деталь. Из бесштоковой полости цилиндра масло через четырехходовой золотник поступает на слив в бак. Для получения требуемого давления в гидросистеме цилиндра служит предохранительный клапан. При неисправности этого клапана и чрезмерном повышении давления срабатывает

электрогидравлическое реле и отключает насос. Насосная станция и подъемник смонтированы на общей раме.



1 - рукоятки управления; 2 - ползун; 3 - шток; 4 - главный рабочий цилиндр; 5 - станина; 6 - электрошкаф; 7 – стол  
Рисунок 4 - Гидравлический одностоечный правильно-запрессовочный пресс модели П6334А [5]



1, 8, 10 - предохранительные клапаны; 2 - поддерживающий клапан; 3 - шток с поршнем; 4 - поршневая полость цилиндра; 5 - сливной клапан; 6 - распределитель; 7 - обратный клапан; 9 - напорный золотник; 11 - электродвигатель; 12 - шестеренный насос; 13 - радиально-поршневой насос; 14 – фильтр.

Рисунок 5 - Гидравлическая схема одностоечного прессы простого действия

Прессы гидравлические одностоечные без гидроподушки П6334 предназначены для выполнения широкого круга работ: запрессовки - выпрессовки, прошивки, калибровки, правки (рихтовки), листовой штамповки без глубокой вытяжки.

Гидравлический пресс одностоечный универсальный модели П6334, усилием 2500 кН предназначен для выполнения следующих операций:

- гибка, пробивка, штамповка, калибровка, запрессовка;
- правка - при оснащении правильным инструментом и правильным столом;
- точная правка - при оснащении устройством для точной правки и, при необходимости, правильным столом.

Прессы могут применяться как в производственных, так и в ремонтных подразделениях и мастерских [1].

Прессы П6334, кроме того, имеют возможность встройки в автоматическую линию или комплекс. По особому заказу все прессы могут оснащаться правильным столом и оснасткой, и механизмом точной правки.

Все узлы прессов установлены на С-образной станине, сваренной из листового проката. В верхней консоли закреплен рабочий цилиндр. К нижнему торцу штока цилиндра крепится ползун, с левой стороны пресса — конечные выключатели, с правой — электрошкаф с кнопочной панелью управления и манометры. На нижней консоли устанавливается стол для крепления инструмента или правильного стола, на который может быть установлено приспособление для правки. На передней части нижней консоли пресса расположены пульта управления. Для ручного управления предусмотрена рукоятка [3].

Привод пресса индивидуальный гидравлический, расположен внутри гидробака, установленного на станине.

Цилиндр - поршневого типа крепится в верхней части станины. В отверстие штока цилиндра установлен рабочий инструмент.

Электросхема имеет блокировку, осуществляющую немедленное отключение вводного автомата при открывании дверцы электрошкафа.

Рабочие органы цилиндра, насосов и гидроаппаратуры постоянно смазываются рабочей жидкостью — маслом — и не требуют специальной смазки. Оси рычагов управления смазываются пресс-масленками [1].

На прессах установлено ограждение и фотозащита.

Режимы работы:

- наладочный;
- полуавтоматический;
- автоматический.

Управление прессом осуществляется:

- от рукоятки;
- от рукоятки с кнопкой;
- от одной кнопки;
- от двух кнопок.

Смазка комбинированная.

Конструкция прессов позволяет встраивать их в автоматические линии.

Климатическое исполнение:

- для умеренного, холодного климата (основное);
- тропическое (по особому заказу).

Серийные правильно-запрессовочные одностоечные ГП простого действия имеют следующие основные параметры:

номинальное усилие - 100 ...2500 кН;

давление рабочей жидкости - 10...32 МПа;

наибольший ход ползуна - 250...500 мм;

рабочая скорость ползуна - 5,0...48 мм/с.

Таблица 2 - Обозначение основного параметра пресса

Обозн. пресса	Усилие пресса, кН						
14	25	20	100	30	1000	40	10000
15	31,5	21	125	31	1250	41	12500
16	40	22	160	32	1600	42	16000
18	63	23	200	33	2000	43	20000
		24	250	34	2500	44	25000
		25	315	35	3150	45	31500
		26	400	36	4000	46	40000
		28	630	38	6300	48	63000

Динамику функционирования системы ГП-вал-втулка можно описать с помощью моделей, где приняты такие обозначения:

P - усилие пресса, кН;

F<sub>тр</sub> - сила трения в системе, Н;

Q и m - вес и масса подвижных частей системы, Н и кг;

V - скорость перемещения ползуна (штока), мм/с;

D и L - геометрические параметры втулки, мм [1].

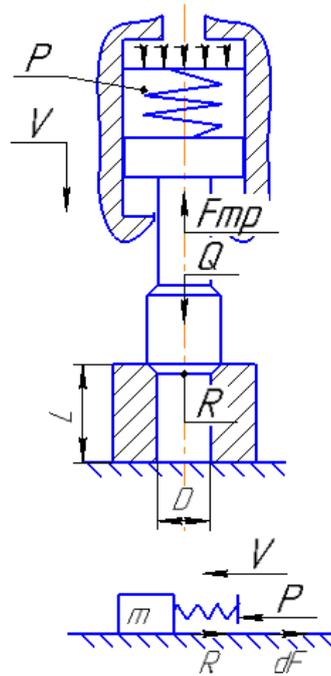


Рисунок 6 – Модель процесса сборки соединения с натягом

Дифференциальное уравнение движения рассматриваемой системы имеет такой вид:

$$m\ddot{x} = -R + P + Q - F_{тр} - \beta(\dot{x} - V),$$

где  $x$  - приращение координаты центра масс движущихся частей (длина запрессовки), мм;

$\beta$  – коэффициент вязкого трения в приводе.

При решении уравнения предполагается, что сборочное сопротивление пропорционально длине запрессовки ( $R = kx$ ), приведенная жесткость динамической системы равна  $C$ , коэффициент сцепления сопрягаемых деталей –  $k_0$ . Окончательное выражение для  $x$  не приводим введу его громоздкости.

Расчетное соотношение для  $V_{кр}$  находится из условия, когда скорость и ускорение системы ГП-вал-штука равны нулю ( $\dot{x} = 0$ ;  $\ddot{x} = 0$ ):

$$V_{кр} = \frac{\Delta F \cdot \omega}{C(1 - 2\theta) + 2\theta(k + k_0)}$$

где  $\omega$  - собственная частота колебаний системы, Гц;

$\theta$  - относительный коэффициент демпфирования системы.

$$\omega = \sqrt{\frac{C + k - k_0}{m}},$$

$$\theta = \frac{\beta}{2\sqrt{m(C + k - k_0)}}$$

Для приближенного определения  $V_{кр}$  можно использовать формулу В.Э.Пуша:

$$V_{кр} = \frac{\Delta f \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot p}{\sqrt{\psi \cdot C \cdot m}}$$

где  $\Delta f$  - разность коэффициентов трения в фазе выстоя и в фазе скольжения (в зависимости от материалов изменяется от 0,02 до 0,05);

$D$  и  $L$  - размеры втулки, мм;

$p$  - контактное давление в сопряжении вал-втулка, МН/м<sup>2</sup>;

$m$  - масса подвижных частей системы, кг;

$C$  - её жесткость, МН/м;

$\psi$  - относительное рассеивание энергии при колебаниях системы ( $\psi = 0,8 \dots 1,0$ ).

Очевидно, что скорость сборки (перемещения ползуна)  $V$ , обеспечивающая плавное протекание технологического процесса без остановок и скачков, всегда должна превышать критическую скорость  $V_{кр}$ .

Необходимое максимальное сборочное усилие  $R_{max}$  при заданной скорости ползуна  $V$  и известном значении  $V_{кр}$  определяется из выражения:

$$R_{max} > \frac{k \cdot L}{\left(1 - \frac{V_{кр}}{V}\right)}$$

где  $L$  - длина втулки, мм;

$k$  - размерный коэффициент пропорциональности.

Для примера, определим технологические параметры оборудования, необходимого для сборки прессового соединения с параметрами:

$D = 100$  мм;

$L = 200$  мм;

$\Delta f = 0,02$ ;

$p = 1$  МН/м<sup>2</sup>;

$\psi = 1,0$ ;

$C = 5$  МН/м;

$m = 500$  кг.

По формуле находим  $V_{кр} = 25$  мм/с. Для скорости сборки  $V = 30$  мм/с при  $k = 93$  кН/м по соотношению получаем  $R_{max} = 110$  кН. При увеличении скорости сборки значение  $R_{max}$  снижается, что создает некоторый резерв мощности ГП.

## 2.2 Расчет на прочность основных деталей пресса

Прочностной расчет главного цилиндра

Номинальное усилие гидравлического пресса определяется по формуле:

$$P_n = p_n \cdot \pi \cdot r_g^2$$

где  $p$  - номинальное давление рабочей жидкости, Па;  
 $r_g$  - внутренний радиус главного цилиндра или радиус поршня цилиндра, мм.

$$P_n = 25 \cdot 3,14 \cdot 0,21^2 = 34,6 \text{ МПа}$$

Отсюда

$$r_g = \sqrt{P_n / (\pi \cdot p_n)}$$

Главный цилиндр можно рассматривать как толстостенную трубу под внутренним давлением, максимальное эквивалентное напряжение имеет место на внутренней стенке, и оно равно:

$$\delta_{\text{max}} = \sqrt{3} \cdot P_n \left[ \frac{r_n^2}{r_n^2 - r_b^2} \right]$$

где  $r_n$  - внешний радиус цилиндра, мм.

$$\delta_{\text{max}} = \sqrt{3} \cdot 3,46 \cdot \left[ \frac{0,360^2}{0,360^2 - 0,210^2} \right] = 90,8 \text{ МПа}$$

Величина допускаемого напряжения  $[\sigma]$  для литых цилиндров 80 - 100 МПа, для кованных цилиндров из стали с содержанием 0,3 ÷ 0,35 % углерода 110 ÷ 150 МПа, для кованных цилиндров из низколегированной стали (1,5 - 2% никеля) 150 ÷ 180 МПа [2].

Давление жидкости, соответствующее минимальному размеру цилиндра (минимуму внешнего радиуса цилиндра), называется оптимальным. Оптимальное давление и внешний радиус при оптимальном давлении можно найти по формулам:

$$P_{\text{opt}} = [\sigma] / 2\sqrt{3},$$

$$r_{H \text{ min}} = 1,5 \sqrt{P_{\text{opt}} / [\sigma]}$$

Определение скорости перемещения ползуна

Скорости холостого хода вниз, рабочего хода (хода деформирования заготовки) и обратного хода в м/с рассчитывают соответственно по формулам:

$$V_{xx}=10^2(Q_1+Q_2)\eta_0/(6F_2),$$

$$V_{px}=10^2 Q_2 \eta_0/(6F_1),$$

$$V_{ox}=10^2(Q_1 + Q_2)\eta_0/[6(F_1 - F_2)]$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  - производительности соответственно насосов низкого и высокого давления в л/мин;

$r_b$  и  $r_n$  - радиусы поперечных сечений поршня (внутренней поверхности цилиндра) и штока в мм;

$\eta_0$ - объемный КПД насоса, равный - 0,9.

Экспериментальные значения скоростей холостого, рабочего и обратного ходов соответственно:

$$V_{xx}^{\text{э}} = \frac{S_{xx}}{t_{xx}},$$

$$V_{px}^{\text{э}} = \frac{S_{px}}{t_{px}},$$

$$V_{ox}^{\text{э}} = \frac{S_{ox}}{t_{ox}}$$

где  $S_{xx}$  - перемещение ползуна пресса за время  $t_{xx}$  холостого хода;

$S_{px}$  - перемещение ползуна пресса за время  $t_{px}$  рабочего хода;

$S_{ox}$ - перемещение ползуна пресса за время  $t_{ox}$  обратного хода.

Расчет цилиндров гидравлического пресса.

Напряжения и перемещения в толстостенных цилиндрах, нагруженных равномерным внутренним и внешним давлением, определяют по формулам:

$$\left. \begin{matrix} \delta_r \\ \delta_\theta \end{matrix} \right\} = \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \pm \frac{(p_1 - p_2) r_2^2 r_1^2}{(r_2^2 - r_1^2) r^2},$$

$$u = \frac{1 - \mu}{E} \frac{p_1 r_1^2 - p_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} r + \frac{1 - \mu}{E} \frac{(p_1 - p_2) r_2^2 r_1^2}{(r_2^2 - r_1^2) r}$$

где  $r_2, r_1, r$  - соответственно наружный, внутренний и текущий радиус, мм;

$p_2, p_1$  - соответственно внешнее и внутреннее давление, Па;

$u$  - радиальное перемещение произвольной точки трубы, мм;

$E, \mu$  - соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона материала цилиндра.

В цилиндрах, опирающихся на фланец:

$$\left. \begin{matrix} \delta_r \\ \delta_\theta \end{matrix} \right\} = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 \pm \frac{r_2^2}{r^2} \right),$$

$$\delta_z = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

Исходя из данных формул, подставив числовые значения, получаем выражения:

$$\left. \begin{matrix} \delta_r \\ \delta_\theta \end{matrix} \right\} = \frac{2,5 * 0,21^2}{0,36^2 - 0,21^2} \left( 1 \pm \frac{0,36^2}{0,21^2} \right) = \begin{matrix} 145 \text{ МПа} \\ 112 \text{ МПа} \end{matrix},$$

$$\delta_z = \frac{2,5 * 0,21^2}{0,36^2 - 0,21^2} = 128 \text{ МПа}$$

а наиболее опасными будут точки, расположенные на внутреннем волокне цилиндра при  $r = r_1$  [2].

Согласно теории прочности, эквивалентное напряжение

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_2 - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2} \leq [\sigma]$$

где  $[\sigma]$  - допустимое напряжение.

Принимая  $r = r_1$ , находим  $\delta_r, \delta_\theta, \delta_z$ , а затем, подставляя полученные выражения решаем относительно  $r_2$ , получаем:

$$r_2 = r_1 \sqrt{\frac{[\sigma]}{[\sigma] - p\sqrt{3}}},$$

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{[\sigma]}{[\sigma] - p\sqrt{3}}}$$

Допустимое напряжение выбирают в зависимости от способа получения цилиндра и его материала:

$[\delta] = 80 - 100$  МПа - для стальных литых цилиндров при  $p < 20$  МПа;

$[\delta] = 110 - 150$  МПа - для кованных цилиндров из стали, содержащей 0,30 - 0,35 процентов углерода;

$[\delta] = 150 - 180$  МПа - для кованных цилиндров из малолегированной стали, содержащей 1,5 - 2,0 процентов никеля.

Из формулы следует, что наружный радиус (диаметр) рабочего цилиндра зависит от допускаемого напряжения  $[\delta]$ , внутреннего радиуса  $r_1$  и выбранного давления  $p$ . Внутренний радиус  $r_1$  рабочего цилиндра можно определить через номинальное усилие  $P_{\text{ном}}$  и давление жидкости  $p$  [2].

Согласно выражению  $r_2$  находится по формуле:

$$r_2 = \sqrt{\frac{P_{\text{ном}}[\delta]}{\pi p([\delta] - p\sqrt{3})}}$$

Отсюда следует, что при заданном номинальном усилии цилиндра  $P_{\text{ном}}$  наружный радиус его зависит от соотношения между допустимым напряжением  $[\sigma]$  и выбранным давлением  $p$ . Для определения оптимального соотношения между  $[\sigma]$  и  $p$ , при котором размеры цилиндра будут наименьшими, необходимо найти производную выражения, например по  $p$ , и приравнять ее нулю. После преобразований получают:

$$p = p_{\text{опт}} = \frac{[\delta]}{2\sqrt{3}} \approx 0,289[\delta]$$

Подставляя  $p = p_{\text{опт}}$  формулу, определяют наименьший наружный радиус цилиндра для заданного номинального усилия  $P_{\text{ном}}$ :

$$r_2 = r_{2\text{наим}} = 1,5\sqrt{P_{\text{ном}}/[\delta]}$$

$$r_2 = r_{2\text{наим}} = 1,5\sqrt{2500000/[110]} = 226 \text{ мм.}$$

Понижение давления рабочей жидкости на 25 - 30 процентов по сравнению с оптимальным позволяет уменьшить потери энергии, связанные со сжатием жидкости, и увеличить срок службы уплотнений [2].

### 3 Расчет на прочность с использованием программы КОМПАС-3D

Исходя из расчетов, а также технической характеристики прессы, были определены основные размеры гидроцилиндра, предназначенные для проектирования. На рисунке ниже изображена 3D-модель главного гидравлического цилиндра прессы.

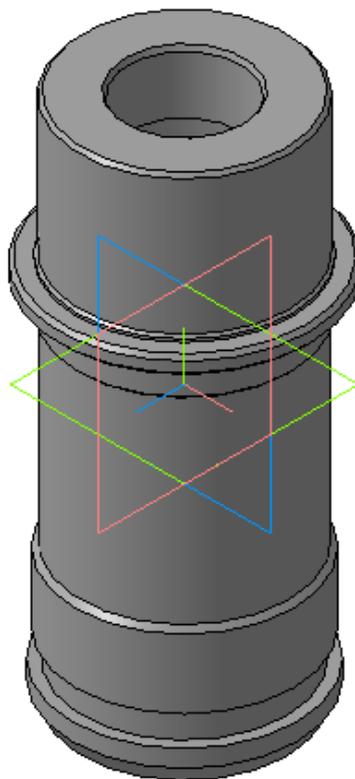


Рисунок 7 – 3D-модель главного цилиндра

Получив модель гидроцилиндра, приступаем к прочностному анализу. Прежде всего, для полученной модели требуется выбрать материал. По технологическому паспорту выбираем сталь 40.

На рисунке 8 изображено окно прочностного анализа детали.

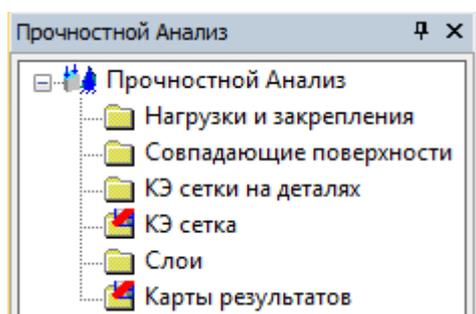


Рисунок 8 – Окно прочностного анализа детали

После выбора материала, приступаем к прочностному анализу. Для этого заходим в «Менеджер библиотек» и выбираем «APM FEM: Прочностной анализ».

Следующим действием после этого пункта является установление требуемых закреплений в определенных местах. На рисунке 9 указано как установлены закрепления.

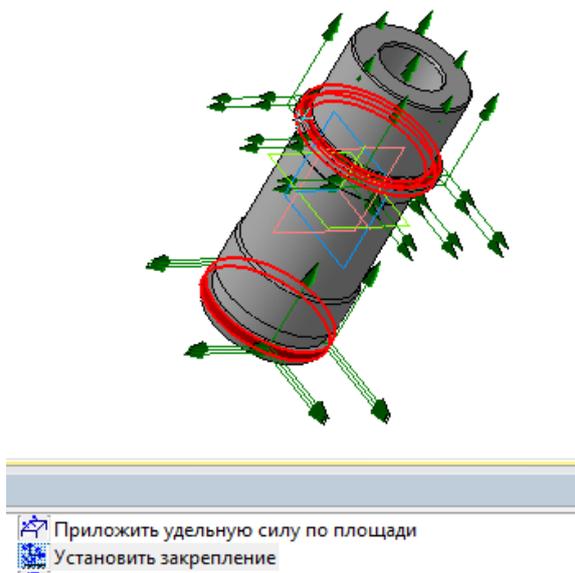


Рисунок 9 – Установка закреплений

Установив закрепления в нужных местах, приступаем к приложению удельной силы по внутренней площади корпуса цилиндра. На рисунке 10 видим, что удельная сила приложена по внутренней площади цилиндра.

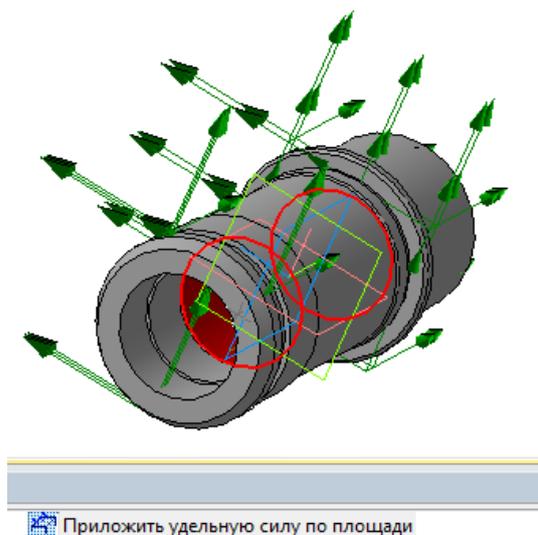


Рисунок 10 – Приложение удельной силы по внутренней площади цилиндра

Установив места закреплений, и приложив удельную силу, начинаем прочностной анализ цилиндра. Для этого выбираем пункт «Генерация КЭ сетки». На рисунке 11 показаны результаты разбиения при генерации КЭ сетки.

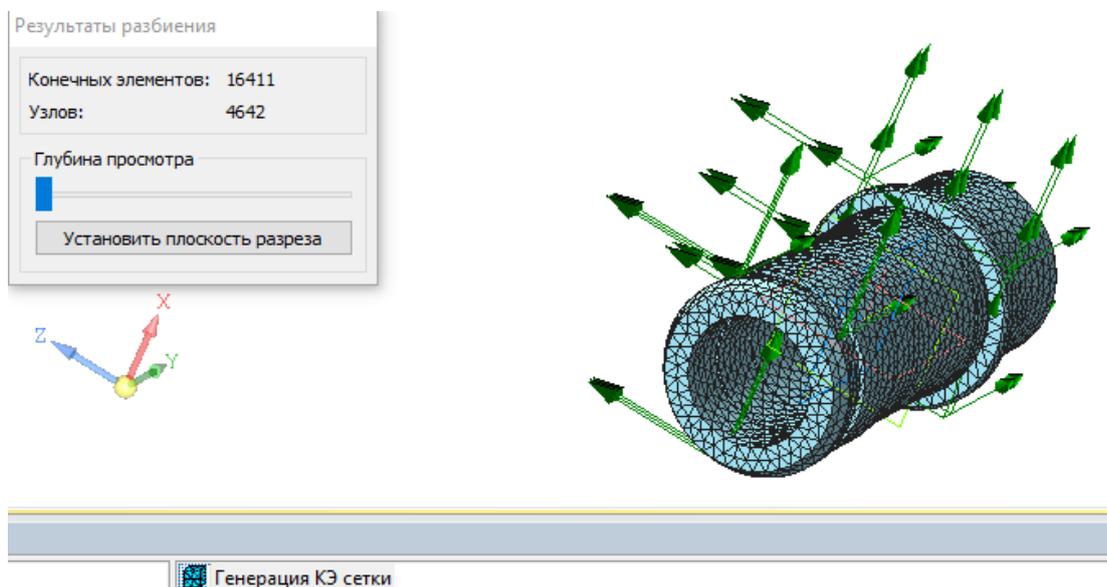


Рисунок 11 – Результат разбиения при генерации КЭ сетки

После генерации открываем «Карту результатов» и выбираем подпункт «Напряжения». На экране появится окно «Карта результатов напряжения». Исходя из результатов, на рисунке 12 видно, что напряжения возникают в допустимых пределах. Так как для кованных цилиндров из стали, содержащей 0,30 - 0,35 процентов углерода допустимое напряжение должно быть в пределах 110 - 150 МПа, соответственно, расчеты верны.

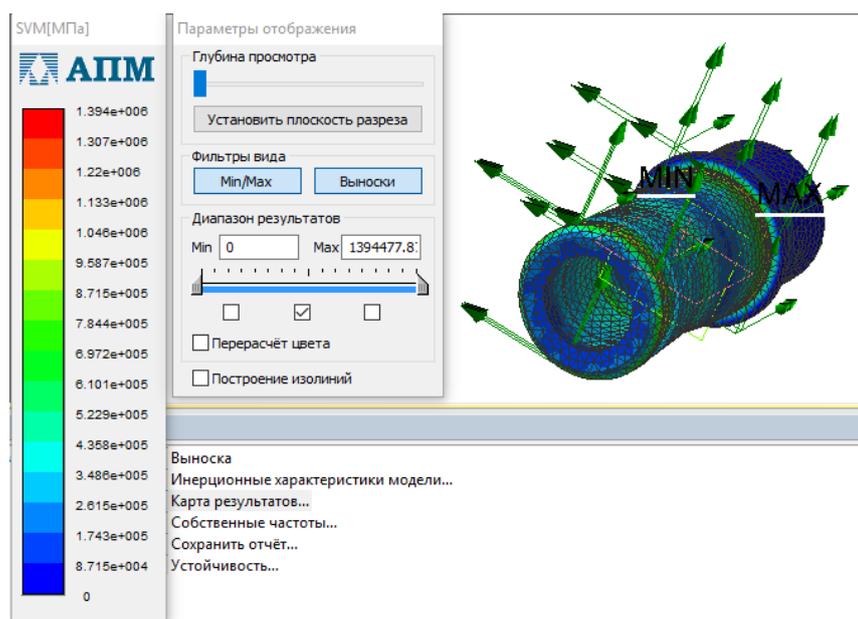


Рисунок 12 - Карта результатов напряжения

Следующим подпунктом для анализа будет «Карта результатов деформации». При анализе карты, были получены сведения, что деформации возникают по всей площади цилиндра в равных значениях, и находятся в допустимых пределах. Это продемонстрировано на рисунке 13.

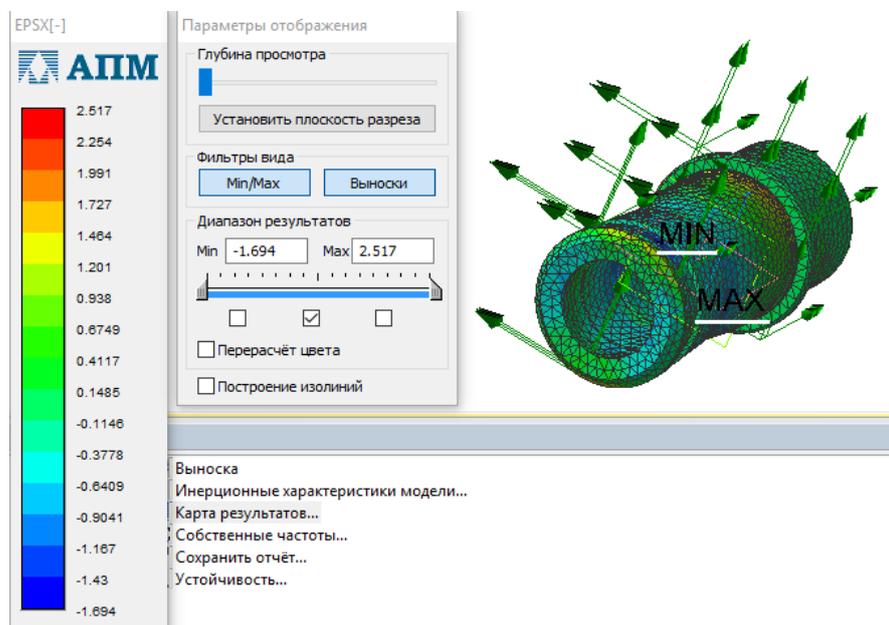


Рисунок 13 - Карта результатов деформации

Также был произведен анализ на возникающие нагрузки на цилиндр. Изучив карту результатов нагрузки, был сделан вывод, что нагрузки не повлияют на прочностные характеристики цилиндра, так как значения находятся в пределах допустимого. Карта результатов нагрузки указана на рисунке 14.

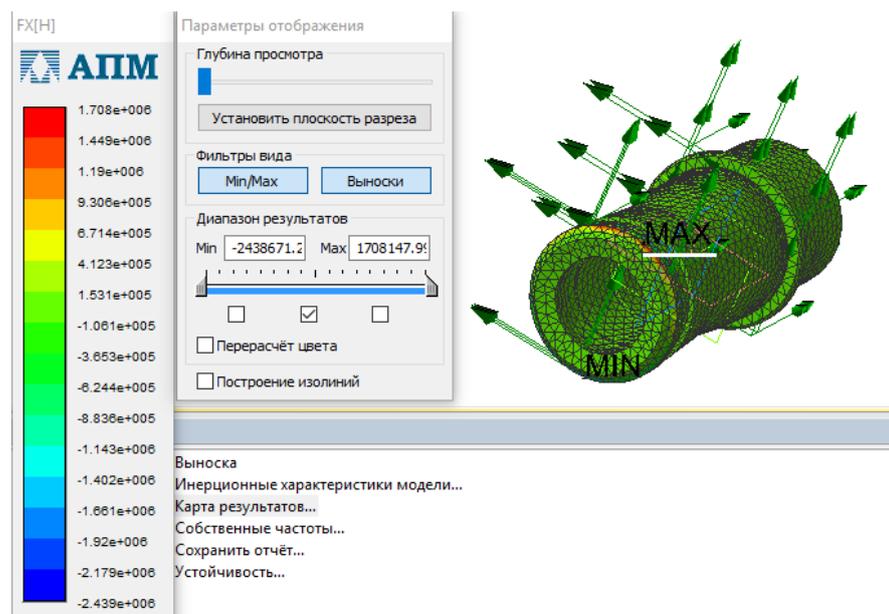


Рисунок 14 - Карта результатов нагрузки

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Дипломная работа посвящена проектированию гидравлического пресса модели П6334А и его узлов с использованием САД/САЕ. В ходе работы были изучены общие сведения о прессе, основные технические данные и характеристики, состав пресса, его устройство, оборудование и составные части, гидросистема.

Получив данные сведения, были выполнены определенные работы, связанные с изучением конструктивных особенностей пресса. Информация была изучена, отсортирована, связана по разделам и определенным пунктам.

В дипломной работе были описаны основные технические данные гидравлического пресса модели П6334А, определяющие характеристики пресса. Был показан общий вид пресса, гидравлическая схема, схема гидроцилиндра. После этого был произведен расчет основных параметров пресса, расчет и анализ прочностных характеристик главного цилиндра пресса.

По результатам работы были получены чертежи и схемы основных узлов станка, расчеты конструктивных параметров, анализ полученных расчетов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Ю.А.Бочаров. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 480 с.

2 Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для вузов / Под ред. Л.И. Живова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 560 с: ил.

3 Орлов П.Г. Штамповка деталей на листоштамповочных автоматах (основы теории и расчета). – М.: Машиностроение, 1984 – 160 с. ил.

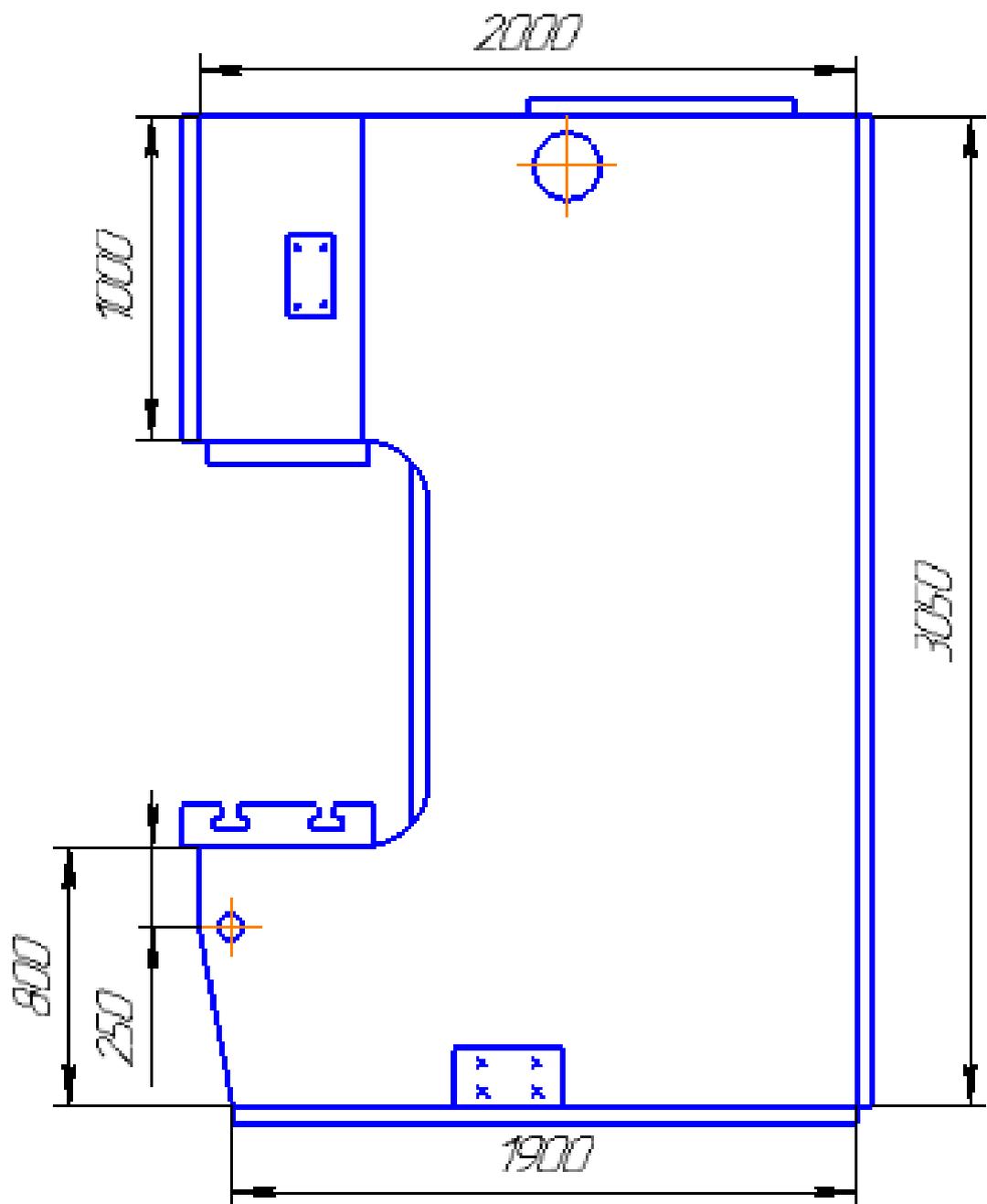
4 Руководство по эксплуатации П6334А.00.001РЭ

5 <https://forkettle.ru/biblioteka/pasporta-i-tehnicheskaya-dokumentatsiya>

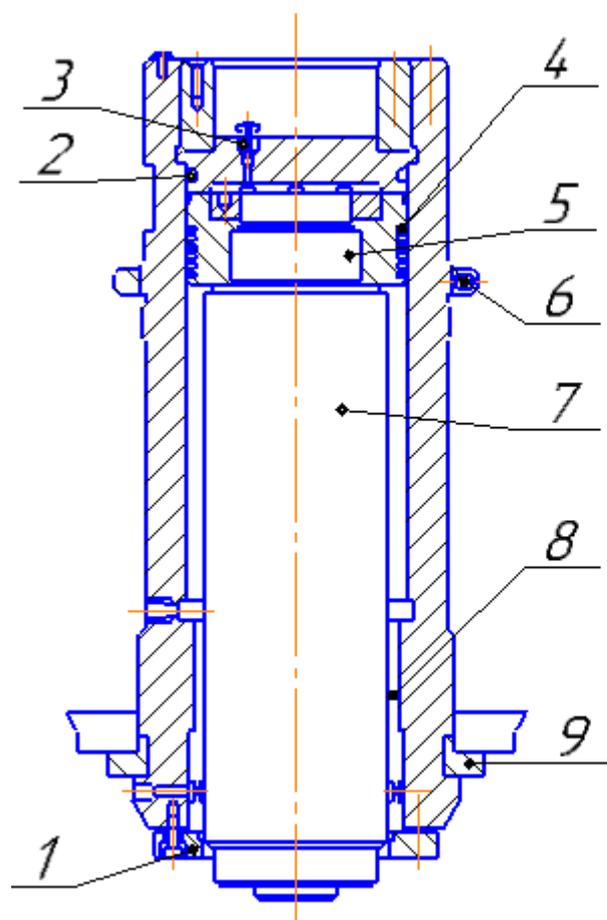
6 <http://stankiexpert.ru/stanki/gibochnye-stanki/gidravlicheskie-pressy.html>

7 [http://stanki-katalog.ru/sprav\\_p6334.htm](http://stanki-katalog.ru/sprav_p6334.htm)

# Приложение А

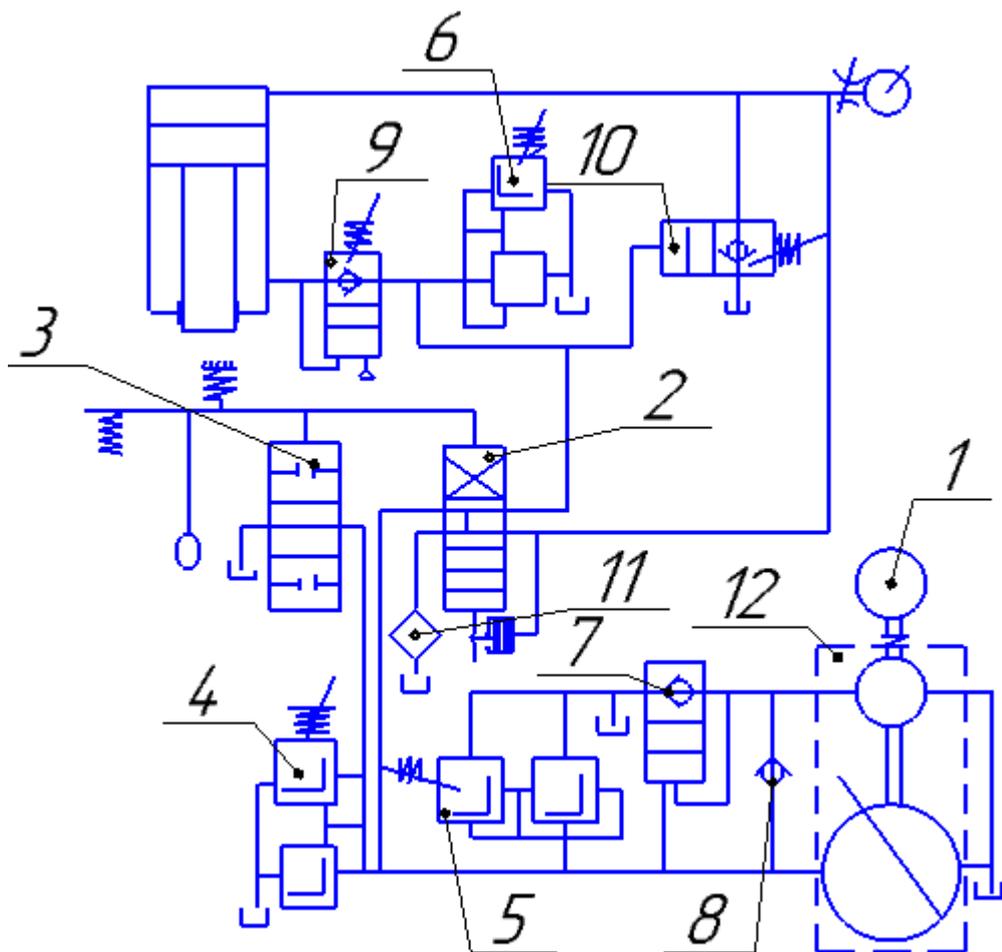


## Приложение В



- 1 – фланец;
- 2 – манжета воротникового типа;
- 3 – масляная пробка;
- 4 – поршневые кольца;
- 5 – поршень;
- 6 – гайка;
- 7 – шток;
- 8 – резиновая манжета;
- 9 – полукольца.

## Приложение С



- 1 – электродвигатель;
- 2 – распределитель;
- 3 – дроссель;
- 4, 5, 6 – клапан предохранительный;
- 7 – клапан обратный управляемый с предохранителем;
- 8 – клапан обратный;
- 9 – клапан предохранительный с обратным клапаном;
- 10 – клапан обратный управляемый;
- 11 – фильтр;
- 12 – насос радиально-плунжерный.