

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Факультет «Автотракторный»  
Кафедра «Автомобильный транспорт и сервис автомобилей»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

д.т.н. профессор

\_\_\_\_\_ Рождественский Ю.В.

\_\_\_\_\_ 2017г.

Оценка возможности использования конструктивных особенностей  
танкового дизеля при разработке ДВС для малой авиации

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель, доцент

\_\_\_\_\_ Хозенюк Н.А.

\_\_\_\_\_ 2017 г.

Автор ВКР

Студент группы П-219

\_\_\_\_\_ Шакуров А.С.

\_\_\_\_\_ 2017 г.

Нормоконтролер, доцент

\_\_\_\_\_ Дойкин А.А.

\_\_\_\_\_ 2017г.

## АННОТАЦИЯ

Шакуров А.С. Оценка возможности использования конструктивных особенностей танкового дизеля при разработке ДВС для малой авиации.– Челябинск: ЮУрГУ, П; 2017, 90 с., 67 ил., библиогр. список – 14 наим.

Изучены конструкции авиационных поршневых двигателей, танковый двигатель В-2, конструкции коленчатых валов.

Освоены основы работы с программами Solidworks v12, ANSYS v14.

Описана подготовка модели коленчатого вала и блок-картера для исследования прочностных характеристик методом конечных элементов.

Определены зоны напряженно деформированного состояния для блок-картера и коленчатого вала.

Обработаны результаты численных исследований.

Выполнен гидродинамический расчет коренных и шатунных подшипников скольжения.

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Шакуров А.С.			ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНСТРУКТИВ- НЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТАНКОВОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДВС ДЛЯ МАЛОЙ АВИАЦИИ	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Хозенюк Н.А.					5	90
Реценз.						ЮУрГУ Кафедра АТ и СА		
Н. Контр.		Дойкин А.А.						
Утверд.		Рождественский						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ.....	10
1.1 Радиальный авиационный поршневой двигатель.....	11
1.2 Оппозитный авиационный поршневой двигатель.....	12
1.3 Авиационный поршневой двигатель с V-образным расположением.....	14
1.4 Устройство двенадцати цилиндрового V-образного двигателя (тип В-2).....	15
1.5 Авиационный советский двигатель АН-1.....	18
1.6 Конструкция коленчатых валов.....	20
1.7 Материалы.....	25
1.8 Методы упрочнения.....	27
1.9 Возможные причины поломок коленчатых валов.....	28
1.10 О программной системе ANSYS.....	30
1.11 Описание системы ANSYS.....	33
1.12 SolidWorks.....	35
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	37
3 ПОДГОТОВКА МОДЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ КШМ И ОСТОВА ДВС К РАСЧЕТУ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	39
3.1 Объект исследования.....	41
3.2 Построение геометрической модели.....	43
3.3 Применение программного продукта «AnsysWorkbench» для оценки прочности блок-картера методом конечного элемента.....	44

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

3.4	Нагрузки, действующие на блок-картер.....	47
3.5	Подготовка модели коленчатого вала 12-цилиндрового v-образного двигателя к расчету методом конечных элементов.....	59
3.5.1	Построение геометрической модели.....	59
3.5.2	Создание сетки конечных элементов.....	60
3.5.3	Моделирование граничных условий.....	61
3.6	Настройка результатов расчетов .....	70
3.7	Методика гидродинамического расчета подшипников скольжения.....	70
4	РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ .....	72
4.1	Определение НДС коленчатого вала на абсолютно жёстких опорах....	77
4.2	Результаты гидродинамического расчета шатунных подшипников скольжения .....	82
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	83
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	85
 ПРИЛОЖЕНИЯ		
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. Индикаторная диаграмма .....	87
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Механические свойства. Сталь 18Х2Н4МА .....	88
	ПРИЛОЖЕНИЕ В. Годограф сил действующих на шатунную шейку .....	89

## ВВЕДЕНИЕ

Для оценки эффективности использования танкового ДВС для малой авиации, необходимо даже на начальном этапе проектирования двигателя оценивать прочность узлов двигателя. Особое внимание стоит уделить кривошипно-шатунному механизму, а в частности блок-картеру, коленчатому валу, шатуну.

Так же для оценки работоспособности коленчатого вала является выполнение прочностного и гидродинамического расчета подшипников скольжения.

Детали двигателей внутреннего сгорания подвергаются воздействию:

- нагрузок от сил давления газов, сил инерции, сил трения и сил полезных сопротивлений;
- тепловых нагрузок;
- нагрузок от упругих колебаний;
- нагрузок от предварительных натягов при сборке.

Нагрузка от сил давления газов воспринимается деталями кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и для большинства из них является основной расчетной нагрузкой. Максимальные значения этой нагрузки соответствуют режиму наибольшего крутящего момента по внешней скоростной характеристике и имеют место при положении поршня около В.М.Т. в начале хода расширения.

Тепловые нагрузки возникают в деталях, подвергающихся воздействию высоких температур, и являются результатом неравномерного распределения температуры по телу деталей. Величина этих нагрузок зависит от степени нагрева деталей, а также от градиента изменения температуры в различных направлениях внутри деталей.

Нагрузки от упругих колебаний являются результатом воздействия на детали периодически изменяющихся по величине и направлению газовых и инерционных нагрузок.

						23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лист
							8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Наибольшую опасность эти нагрузки представляют при резонансе, когда частота вынужденных сил совпадает с частотой собственных колебаний детали или становится им кратной. Крайне нежелательны нагрузки от упругих колебаний также и во всех других случаях, так как они всегда приводят к увеличению напряжений и часто являются источником усталостных деформаций, вызывающих в конечном итоге разрушения деталей.

Нагрузки от предварительных натягов при сборке характерны для неподвижных соединений и различных крепежных деталей. Воздействию этих нагрузок подвергаются также детали уплотнения головки цилиндров и блок – картеров.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1 ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ

Авиационная история создания танкового дизеля обеспечила сохранение такого важного для авиационных двигателей параметра, как отношение веса двигателя к его мощности, для двигателей семейства В-92 этот параметр находится на уровне 0,85...1,02. Современные требования к конструкции поршневого авиационного дизельного двигателя по этому параметру находятся на уровне 0,47...0,62.

Концепция разработки дизельного двигателя для малой и беспилотной авиации, а также судов на воздушной подушке, может быть принята как вариант применения отработанных конструкторских решений при создании танкового двигателя типа В-2.

В отечественном авиадвигателестроении вновь возник интерес к поршневым двигателям. Это связано с тем, что в ряде случаев, когда рассматриваются легкомоторные летательные аппараты, авиационный поршневой двигатель (АПД) оказывается более целесообразным, чем маломощный газотурбинный двигатель. По этой причине многие вопросы развития АПД не потеряли актуальности и в настоящее время, а ряд рассматривавшихся в прошлом идей не получил еще широкого освещения.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	млс
Изм.	млс	докум.	сьПод-	та-		0

## 1.1 Радиальный авиационный поршневой двигатель.

Главным отличием такого двигателя от других поршневых авиационных двигателей является разница в конструкции кривошипно-шатунного механизма. В нем 1 коленчатый вал является главным. Звездообразный авиационный поршневой двигатель. С виду он похож на коленвал обычного рядного двигателя. Шатуны прицепные, они крепятся вокруг коленвала по его форме. В остальном, принцип работы такой же как и в обычных двигателях. Звездообразные двигатели имеют выхлопную систему, которая также организована в виде радиальных лучей. Такие двигатели могут образовывать несколько звезд-отсеков путем увеличения длины главного коленвала. Обычно 4-тактные звездообразные моторы имеют в своем распоряжении нечетное количество цилиндров, что дает возможность подать искру в цилиндры через один.



Рисунок 1.1 – Радиальный авиационный поршневой двигатель

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	млс
Изм.	млс	докум.	сьПод-	та-		1



К единственному недостатку таких двигателей относят возможность попадания масла в нижние цилиндры двигателя при стоянке самолета. Это может привести к мгновенному гидроудару и соответственно к поломке всего кривошипно-шатунного механизма. Чтобы избежать подобного, перед запуском двигателя, постоянно необходимо проверять нижние цилиндры на отсутствие в них масла.

Из плюсов радиального двигателя стоит отметить его сравнительно небольшие размеры, простоту в эксплуатации и приличную мощность (часто устанавливают на спортивные самолеты).

## 1.2 Оппозитный авиационный поршневой двигатель.

Помимо звездообразных двигателей нашли свое применение в авиастроении и оппозитные двигатели. Их часто устанавливают на легкие спортивные самолеты небольших размеров, так как их мощности вполне достаточно для полета на высоких скоростях. В современной авиации существует несколько типов оппозитных двигателей, а именно:

1) Двигатель по типу боксер (Subaru). В нем поршни противоположных цилиндров двигаются равноудаленно друг к другу. Это означает, что в определенный момент один цилиндр будет располагаться в верхней мертвой точке, а противоположный – в нижней мертвой точке.

2) Двигатель с устройством ОРОС. Еще до недавнего времени эти двигателя имели очень низкий спрос. Но сейчас ситуация несколько поменялась. Двигатель ОРОС имеет весьма сложную систему. В нем один коленчатый вал приводят в движение два поршня, которые располагаются в противоположных цилиндрах.

3) Оппозитный двигатель по типу советского 5ТДФ. В нем поршни двигаются навстречу друг к другу и работают попарно в одном цилиндре. Когда оба поршня достигают верхней мертвой точки, в расстояние между ними впрыскивается топливо. Благодаря такой конструкции этот двигатель может работать на различных видах топлива, начиная от керосина и заканчивая бензином.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лис-
Изм.	Лис-	№ докум.№	Подпи-	Дата		121

Мощность оппозитных двигателей увеличивают установкой на него турбо-наддува, би-турбо или твин-турбо. Также её можно повысить при применении в производстве H-образных шатунов или кованных поршней.



Рисунок 1.2 – Оппозитный авиационный поршневой двигатель

К недостаткам оппозитного двигателя относят высокий расход топлива и моторного масла. В этом двигателе необходимо регулярно производить замену масла иначе он быстро приходит в непригодность. Показатели расхода топлива и масла по сравнению с другими поршневыми авиационными двигателями самые большие и могут превышать в процентном соотношении более чем на 50%.

Главным плюсом оппозитных двигателей является компактность, что позволяет устанавливать их на самолеты малых размеров. При таких габаритах мощности этих двигателей вполне достаточно даже для спортивных самолетов.

						23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лис-
Изм.	Лис-	№ докум.№	Подпи-	Дата			131

### 1.3 Авиационный поршневой двигатель с V-образным расположением

Современный авиационный поршневой двигатель претерпел значительные изменения по сравнению со своими первенцами. Это весьма сложные устройства, которые оснащают большим количеством дополнительных механизмов, агрегатов, обслуживающих систем и приборов. Благодаря им удалось снизить общий вес двигателя и увеличить его мощность, что позволило их использовать в легкой и спортивной авиации. Сегодня их главным показателем стало соотношение удельной мощности к весу самого агрегата и в среднем оно дотягивает до отметки в 0,5 кг/л. с.



Рисунок 1.3 – Авиационный поршневой двигатель с V-образным расположением

Изм.	Лис-	№ докум.№	Подпи-	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

#### 1.4 Устройство двенадцати цилиндрового V-образного двигателя (тип В-2)

Двигатель В-2 двухрядный, V-образны. В каждом блоке размещено шесть цилиндров. Блоки расположены под углом  $30^{\circ}$  к вертикали, угол развала между блоками составляет  $60^{\circ}$ .

Направление вращения коленчатого вала – по ходу часовой стрелки, если смотреть со стороны передачи.

Двигатель состоит из следующих составных частей: кривошипного механизма, механизма газораспределения, механизма передач (к газораспределению, агрегатам двигателя и генератору), системы питания, системы смазки, системы охлаждения и системы запуска. Кривошипный механизм в свою очередь состоит из картера, двух блоков цилиндров, коленчатого вала, шатунной и поршневой групп.

**Картер** является основной составной частью двигателя, на которой монтируются все остальные составные части. Картер является силовым остовом двигателя, воспринимающим внутренние и внешние силы, действующие на двигатель.

Картер отлит из алюминиевого сплава и термически обработан для получения высокой прочности.

Как внутренние, так и наружные поверхности картера, не подвергающие механической обработке, окрашены бакелитовым лаком, что делает эти поверхности более стойкими против коррозии и гладкими, благодаря чему картер легче очищать от пыли, грязи и шлама.

Картер состоит из верхней и нижней половин, соединенных друг с другом фланцами, расположенными по плоскости разъема. Фланцы стягиваются сорока восемью шпильками. Во фланцах имеется также четыре отверстия под призонные болты, с помощью которых нижняя половина картера точно фиксируется относительно верхней.

**Блоки цилиндров** со вставными износостойкими гильзами монтируются на верхней половине картера. Стык рубашек блоков с картером специальных уплотнений не имеет, а стык головки блока с гильзами (газовый стык) уплотняется об-

Изм.	Лис-	№ докум.№	Подпи-	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

Лис-

151

щей дюралюминиевой прокладкой. Плотность газового стыка обеспечивается соответствующей затяжкой силовых шпилек, которая выбирается с учетом давления газов в цилиндрах и разности коэффициентов линейного расширения металла шпилек, рубашки блока, головки блока и должна быть достаточной для предотвращения прорыва газов.

**Коленчатый вал** стальной, изготовлен методом горячей штамповки. Коленчатый вал имеет шесть колен, расположенных в трех плоскостях, повернутых друг к другу под углом  $120^{\circ}$ , и восемь коренных шеек, которыми он опирается на коренные подшипники.

Коленчатый вал воспринимает периодические нагрузки от сил газов и сил инерции возвратно-поступательно движущихся и вращающихся масс кривошипно-шатунного механизма. Во время работы двигателя коленчатый вал передает крутящий момент трансмиссии автомобиля, а также различным агрегатам и вспомогательным механизмам.

**Поршневая группа** состоит из поршней, отштампованных из сплава алюминия. На наружной поверхности поршней проточены канавки для установки колец, часть из которых являются уплотняющими, а часть – маслосбрасывающими. Поршни соединяются с шатунами с помощью поршневых пальцев.

**Шатунная группа** состоит из шести пар основного и прицепного шатунов, соединенных шарнирно и работающих соответственно в левом и правом блоке.

**Механизм газораспределения** – с подвесными клапанами, управление ими осуществляются с помощью распределительных валов, вращающихся в подшипниках, смонтированных в головках блоков. Механизм закрыт крышкой, установленной на паронитовой прокладке.

**Механизм передач**, состоящий из системы валов и шестерен, смонтированных в картере и блоках, обеспечивает кинематическую связь (передает вращение) коленчатого вала с распределительными валами механизма газораспределения, топливным и масляным насосами, генератором, топливоподкачивающим насосом и тахометром.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лис-
Изм.	Лис-	№ докум.№	Подпи-	Дата		161

**Впускные и выпускные коллекторы** устанавливаются на прокладках, соответственно на внутренней и наружной боковых стенках головок блоков.

**Система питания топливом**, обеспечивающая подачу топлива из баков в цилиндры двигателя, состоит из топливоподкачивающего насоса, установленного на нижней половине картера, топливного фильтра тонкой очистки и топливного насоса, установленных в развале блоков, форсунок, монтируемых в отверстиях головок блоков и соединительных трубопроводов.

**Система смазки** – циркуляционная под давлением, с сухим картером. Она включает масляный насос, установленный на нижней половине картера, масляные фильтры различных типов в зависимости от модификации двигателя и трубопроводы.

**Система охлаждения жидкостная.** Охлаждающая жидкость циркулирует в системе под напором, создаваемым в системе центробежным водяным насосом. Она подводится к рубашкам блоков снизу, а отводится к радиаторам сверху – из головок блоков со стороны носка коленчатого вала.

**Нагнетатель и механизм отбора мощности** устанавливается на отдельных модификациях со стороны механизма передач. Они приводятся в действие непосредственно от коленчатого вала через рессорный валик. [2]

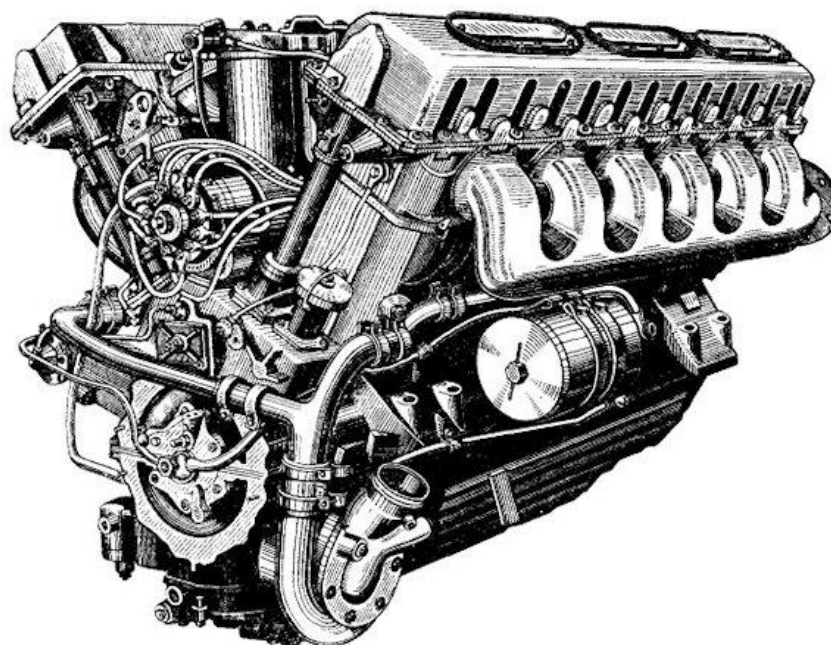


Рисунок 1.4 – Танковый двигатель В-2

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лис-
Изм.	Лис-	№ докум.№	Подпи-	Дата		171

## 1.5 Авиационный советский двигатель АН-1

АН-1 (Н-1) — советский поршневой 12-цилиндровый V-образный четырёхтактный авиационный дизельный двигатель водяного охлаждения.

В СССР в условиях слабо развитой нефтехимии не хватало качественного высокооктанового бензина, в первую очередь авиационного. Поэтому дизельный двигатель, работающий на газойле или керосине, мог явить собой действенное решение многих проблем, связанных с моторизацией всего народного хозяйства, и в первую очередь — вооружённых сил (в качестве силовой установки танков и самолётов).

Двигатель АН-1 разрабатывался в отделе нефтяных двигателей ИАМ (ЦИАМ) под руководством А. Д. Чаромского. Первый опытный образец изготовили летом 1933 года в мастерских ЦИАМ. Он проходил стендовые испытания в 1933—1934 годах. В октябре — ноябре 1935 года АН-1 прошёл госиспытания. По их результатам предложили выпустить опытную партию из 35—40 двигателей.

Впоследствии АН-1 неоднократно модифицировался. В общей сложности выпущено около 100 экземпляров.

АН-1 дал начало целому семейству двигателей: для авиации — АЧ-30Б и М-40; для флота — М-50, М-400, М-401 и М-850; для танков — ТД-30Б; для железных дорог — М-750, М-753, М-756. Дизели М400 мощностью 800 л. с. и М401 (с турбонаддувом) мощностью 1000 л. с. устанавливались на скоростных судах «Заря», «Ракета», «Восход» и «Метеор».

Первый опытный отечественный двигатель на тяжёлом топливе АН-1 был создан в Центральном институте авиационного моторостроения под руководством А. Д. Чаромского в 1936 году. По схеме это был четырёхтактный 12-цилиндровый V-образный двигатель с непосредственным впрыском топлива. По своей силовой схеме он был аналогичен двигателю М-34, но имел несколько большие диаметр цилиндра (180 мм) и ход поршня (200 мм). Его номинальная мощность составляла 750 л. с. В ходе развития мощность авиадизеля была повышена до 1250 л. с. при удельном расходе топлива 0,175 кг/л. с.·ч. С этими данными он успешно прошёл

Изм.	Лис-	№ докум.№	Подпи-	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

Лис-

181

испытания и был принят для серийного производства. В ходе подготовки и развертывания производства продолжилось совершенствование двигателя.

Созданный под руководством А. Д. Чаромского серийный двигатель АЧ-30Б имел: взлётную мощность — 1500 л. с., мощность на высоте 6000 м — 1250 л. с., удельный расход топлива — 0,17 кг/л. с.·ч, удельную массу — 0,77 кг/л. с. Это был самый мощный в мире авиационный дизель. Его основные технические данные были на уровне лучших мировых достижений. Во время Великой Отечественной войны двигатели АЧ-30Б применялись на тяжёлых бомбардировщиках Пе-8, наносивших удары по глубоким тылам противника, в том числе и по Берлину.

До настоящего времени находят применение в транспортном машиностроении и на судах дизели, создаваемые на основе АН-1 и его модификаций. Возможности развития этого семейства далеко не исчерпаны.[1]

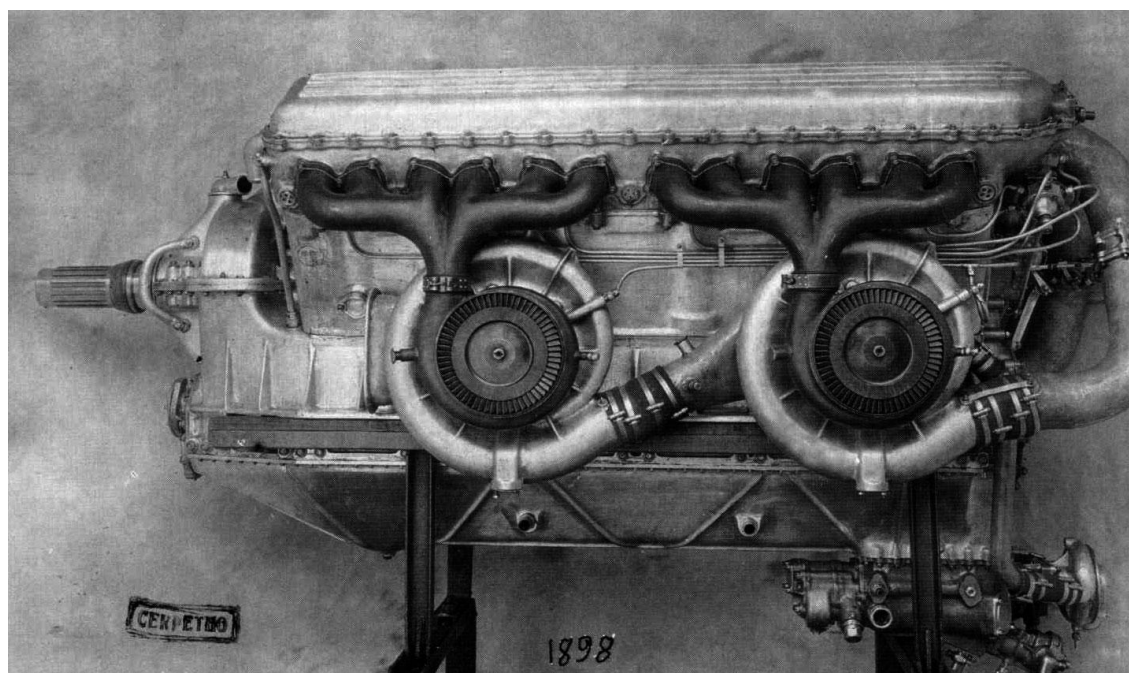


Рисунок 1.5 – Авиационный дизельный двигатель АН-1

### 1.6 Конструкция коленчатых валов

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лис-
Изм.	Лис-	№ докум.№	Подпи-	Дата		191



Конструкция и размеры коленчатого вала зависят от числа и расположения цилиндров двигателя, числа коренных и шатунных шеек, размещения шатунов, равномерности чередования рабочих ходов и уравновешенности.

Коленчатые валы могут быть как целые, так и составные. Последние применяют в случае использования подшипников качения в качестве шатунных и коренных подшипников.

Коленчатый вал состоит из следующих элементов: переднего конца вала, шатунных и коренных шеек, щек, противовесов и хвостовика.

На коленчатом валу обычно располагаются маховик, ведущая распределительная шестерня, шкив привода вентилятора, гаситель крутильных колебаний, маслоотражатели и другие второстепенные детали.

Общая длина кривошипа, а также размеры составляющих его элементов (коренная и шатунные шейки и щеки) зависят от минимального расстояния между осями двух соседних цилиндров.

В быстроходных дизелях и некоторых карбюраторных двигателях число коренных подшипников коленчатого вала на единицу больше числа колен. Карбюраторные двигатели часто имеют неполно опорные коленчатые валы. В этом случае между двумя коренными подшипниками располагается по два колена, вследствие чего сокращается длина коленчатого вала и габаритные размеры двигателя.

Чтобы повысить жесткость таких коленчатых валов на изгиб, увеличивают диаметры шатунных и коренных шеек, уменьшают их длину и увеличивают толщину щек. В V-образных двигателях применяют полноопорные коленчатые валы.

Современные четырехцилиндровые дизельные двигатели с рядным расположением цилиндров обычно имеют три или пять коренных подшипников, а восьмицилиндровые V-образные двигатели — только пять коренных подшипников. Восьмицилиндровые дизели чаще делают с пятью коренными подшипниками. Шестицилиндровые карбюраторные двигатели могут иметь четыре и семь, а дизели — только семь коренных подшипников.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лис-
Изм.	Лис-	№ докум.№	Подпи-	Дата		202

В подавляющем большинстве случаев коленчатые валы изготавливают цельными.

Исходя из условия равномерности чередования вспышек угол между кривошипами вала четырехтактного однорядного двигателя должен быть равен  $720^\circ/i$  (где  $i$ — число цилиндров). Угол между кривошипами двухтактного двигателя согласно тому же условию должен быть  $360^\circ/i$ . При определении порядка работы двигателя из всех возможных вариантов выбирают порядок, при котором вспышки совершаются поочередно в цилиндрах наиболее удаленных друг от друга. Такой порядок работы несколько улучшает условия, в которых находятся коренные подшипники, и препятствует проникновению отработавших газов из одного цилиндра в другой.

Ниже рассматриваются конструктивные элементы коленчатого вала.

Передний конец коленчатого вала имеет ступенчатую форму, что необходимо для установки на нем шкива привода вентилятора, маслоотражающего устройства, распределительной шестерни и в некоторых случаях гасителя крутильных колебаний, который обычно объединяют в один узел со шкивом вентилятора. Все устройства и детали, расположенные на переднем конце коленчатого вала, стягивают болтом, ввернутым в его торец, или гайкой, накрученной на конец коленчатого вала (рисунок 1.5). При установке коленчатого вала в подшипниках качения на его переднем конце должно быть предусмотрено место для устройства, при помощи которого масло подается в коленчатый вал.[2]

									Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

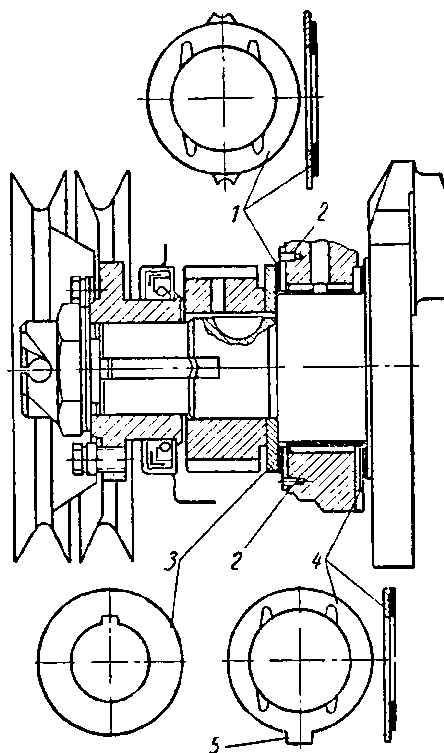


Рисунок 1.6 – Передний конец коленчатого вала

1 и 4 - упорные шайбы; 2 – штифт; 3 – упорный диск; 5 – выступ для фиксации крышки подшипника

Коренные шейки коленчатого вала выполняют одинакового диаметра. Для фиксирования коленчатого вала от осевых перемещений служит одна из крайних или средняя шейка. Упорные подшипники у большинства двигателей (у дизелей в особенности) располагают со стороны маховика. В некоторых двигателях упорные подшипники устанавливают со стороны механизма газораспределения или у среднего коренного подшипника. При цепном приводе желательно упорный подшипник располагать со стороны переднего конца вала, так как при перекосах условия работы цепи ухудшаются.

Для смазки коренных шеек масло подается из общей масляной магистрали, расположенной в блок-картере, по каналам в стенках верхней части картера со стороны малонагруженной половины вкладыша.

Щеки коленчатого вала могут быть различной формы: призматические (в частности, прямоугольные, рисунок 1.6, а и в) овальные (рисунок 1.6, б и г) и круглые (рисунок 1.6, д). У коленчатых валов автомобильных двигателей большей части щеки делают прямоугольной и овальной формы.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

Лист

22

Если между опорами расположены два колена, то длина щек увеличивается, а форма их усложняется, что усложняет конструкцию вала в целом и увеличивают его массу. Для лучшего использования материала не работающие, наиболее удаленные от оси коленчатого вала, части щек срезают (рисунок 1.6, а, и д)

Жесткость щеки зависит от перекрытия коренных и шатунных шеек — (рисунок 1.6, з). Чем больше перекрытие шеек, тем больше жесткость и прочность щеки. При этом можно уменьшить толщину щеки без увеличения ее ширины. Величина перекрытия шеек зависит от отношения хода поршня к диаметру цилиндра и диаметра шеек.

Переходы (галтели) от щек к коренным и шатунным шейкам во избежание возникновения больших концентраций напряжения выполняют радиусом около  $(0,035—0,08) d$ . Для уменьшения опорной поверхности шейки галтель в некоторых конструкциях состоит из двух-трех сопряженных дуг различных радиусов  $r_1, r_2, r_3$  (рисунок 1.6, е).

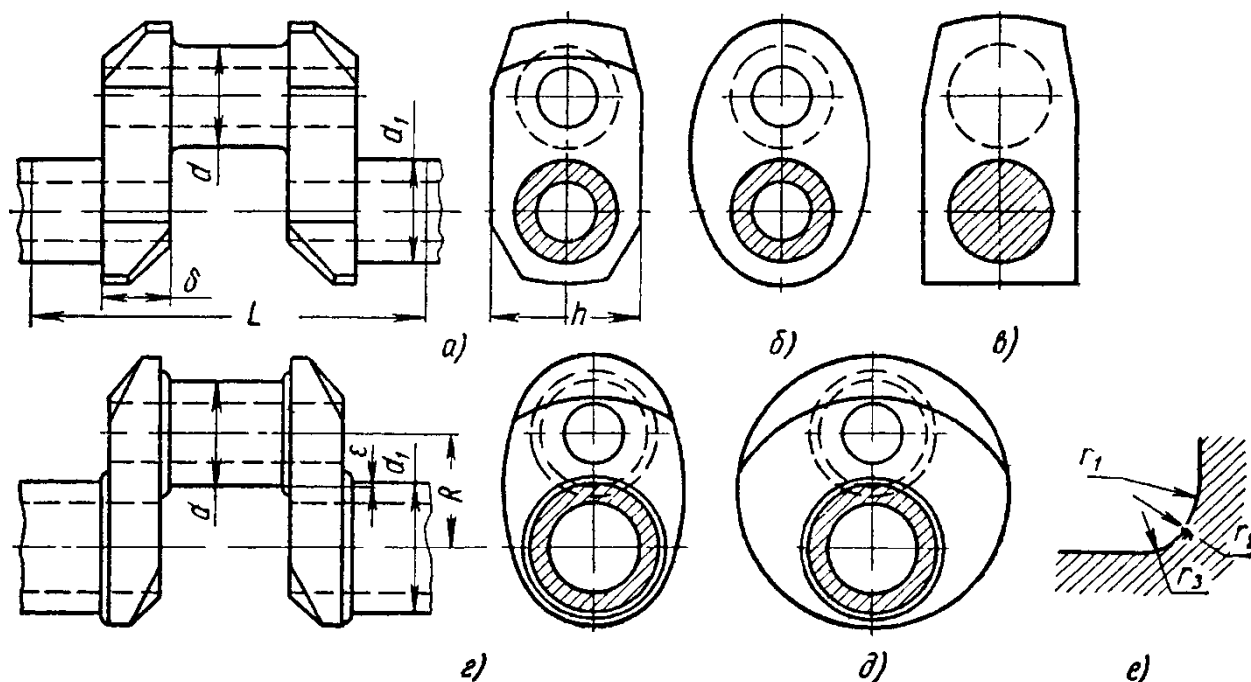


Рисунок 1.7 – Конструктивные элементы коленчатого вала

Утолщение щек без увеличения длины двигателя ведет с одной стороны к повышению жесткости кривошипа, и с другой — к уменьшению ширины подшипников. При этом ширина подшипника не должна быть меньше  $0,25 d$ .

При наличии на коленчатом валу противовесов форма щек усложняется.

										Лист
										23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Противовесы служат для разгрузки коренных подшипников от центробежных сил и моментов, вызываемых этими силами. Первые возникают от неуравновешенных масс колена вала. Для уменьшения массы противовесы следует конструировать так, чтобы их центр тяжести располагался на возможно большем расстоянии от оси коленчатого вала. Масса противовеса составляет 70—80% суммарной массы вращающихся частей. Противовесы обычно отковывают или отливают как одно целое со щеками. Толщина противовеса не должна превышать толщины щеки, чтобы при ремонте шейки коленчатого вала можно было шлифовать.

В некоторых коленчатых валах сложной конструкции для упрощения их штамповки противовесы изготавливают отдельно. В этом случае противовесы к щекам крепятся специальными болтами 1 (рисунок 1.7, а и б) или шпильками 2 (рисунок 1.7, в).

Для фиксации головки болтов приваривают к противовесам.

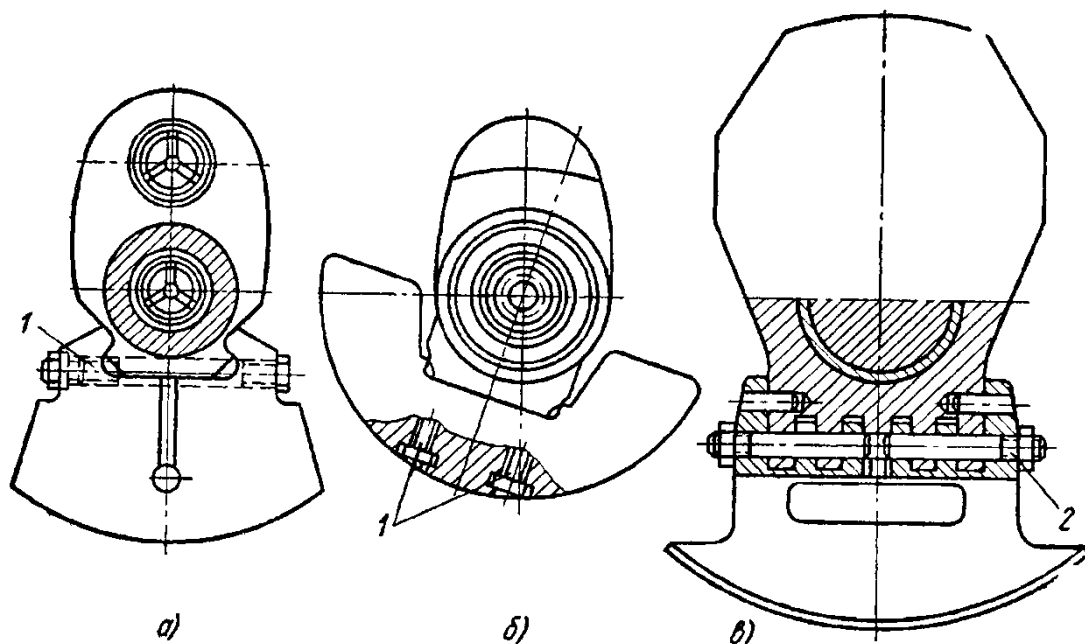


Рисунок 1.8 – Конструкции противовесов

Число и установочный угол противовесов определяют из динамического расчета.

В двигателях с кривошипно-камерной схемой газообмена противовесы, заполняя кривошипную камеру, уменьшают вредное пространство и способствуют созданию требуемого давления продувочного воздуха.

										Лист
										24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ					

Шатунные шейки коленчатых валов обычно имеют меньший диаметр, чем коренные. При увеличении диаметра шатунной шейки увеличивается нижняя головка шатуна, что ведет к возрастанию вращающихся масс. При уменьшении длины шатунной шейки повышается удельная нагрузка, вследствие чего ухудшаются условия работы масляной пленки. Для уменьшения массы шатунные шейки часто высверливают.

Масло к шатунным шейкам подводится от коренных шеек по просверленным в валу каналам или запрессованным трубкам (в случае полых шеек).

Хвостовик (задний конец) коленчатого вала обычно имеет фланец для установки маховика. При наличии гидравлического сцепления роль маховика играет корпус сцепления. Задний конец коленчатого вала уплотняется с помощью отражательных колец вместе с фетровыми или резиновыми кольцами и винтовой нарезкой на валу, имеющей направление, обратное направлению вращения коленчатого вала.

Маховик крепится к фланцу коленчатого вала болтами. Отверстия под болты располагаются несимметрично, чем достигается установка маховика в строго определенном положении.

В торце фланца имеется отверстие для установки подшипника первичного вала коробки передач[1, с. 401].

## 1.7 Материалы

Для изготовления коленчатых валов применяются стали 45, 45А, 40Х, 20Г2 и 50Г. В дизелях, работающих с давлением наддува  $p_k \geq 0,15 \text{ Мн/м}^2$  ( $1,5 \text{ кг/см}^2$ ), для коленчатых валов используют высоколегированные стали 18ХНМА, 18ХНВА и 40ХНМАс повышенными пределами текучести и прочности.

Обычно коленчатые валы изготовляют ковкой. В последнее время стали применять литые коленчатые валы из высокопрочного чугуна, модифицированного магнием, перлитного ковкого чугуна, легированного никельмолибденового чугуна.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Наибольшее применение для литых коленчатых валов получил высокопрочный ВЧ 50-1,5 ( $HB\ 187—255$ ) и перлитовый чугун.

Литые коленчатые валы имеют следующие преимущества по сравнению с коваными: меньший расход металла, сокращение числа операций при механической обработке, возможность придания оптимальных форм в отношении распределения металла и повышения усталостной прочности.

Литые коленчатые валы из чугуна обладают лучшей способностью гашения крутильных колебаний.

Литые чугунные валы (рисунок 1.8) обладают меньшей прочностью (особенно на изгиб), чем штампованные стальные валы. Поэтому у чугунных валов увеличивают диаметры шатунных и коренных шеек, толщину щек и радиусы галтелей. Чугунные коленчатые валы изготавливают полноопорными. Шейки чугунных валов имеют высокую износостойкость, что позволяет применять подшипники из свинцовистой бронзы.

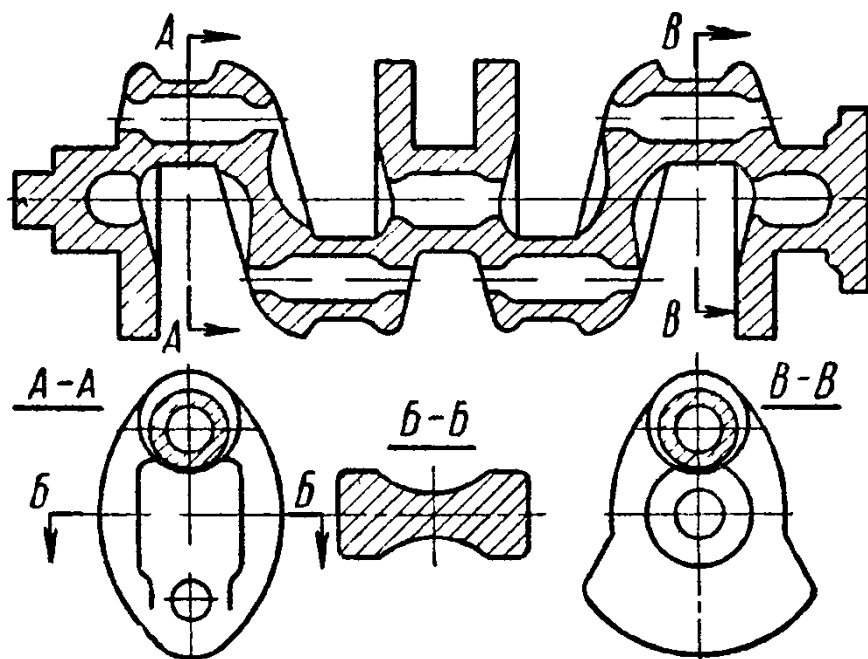


Рисунок 1.9 – Литой коленчатый вал

Масса обработанного литого коленчатого вала на 10—15% меньше массы ковального.

Послековки коленчатые валы отжигают или нормализуют для снятия внутренних напряжений и понижения твердости до

*HV 163—269*, чтобы облегчить механическую обработку. После механической обработки коленчатые валы перед шлифованием подвергают вторичной термической обработке (закалка и отпуск), что значительно улучшает их механические свойства и повышает поверхностную твердость шеек. Обычно вторичная термическая обработка производится с нагревом т. в. ч. (токами высокой частоты).

Глубина закаленного слоя должна быть не менее 3—4 мм, чтобы после перешлифования шеек коленчатого вала под ремонтные размеры толщина закаленного слоя была не менее 1 мм. Твердость шеек коленчатого вала из стали 50Г *HRC52—62*, а из стали 45Г2 — *HRC48—50*[1, с. 406].

### 1.8 Методы упрочнения

Способы повышения прочности коленчатых валов делятся на конструктивные и технологические.

Конструктивные способы повышения прочности коленчатого вала состоят в том, что ему придают такую форму, при которой напряжения распределяются более равномерно по объему вала, как в зонах концентрации напряжений, так и вне этих зон. Требуемые конструктивные формы вала устанавливаются экспериментально.

С увеличением радиуса кривизны галтели (или углубления галтели в шейку) и перекрытия шатунных и коренных шеек усталостная прочность кривошипа повышается. При увеличении перекрытия шеек на 10 мм предел выносливости кривошипа при изгибе повышается на 3,5%, на 20 мм — на 29% и на 30 мм — на 75%.

Эксцентричное расположение внутреннего облегчающего отверстия в шатунной шейке относительно ее геометрической оси в сторону удаления от радиуса кривошипа сопровождается уменьшением напряжений изгиба у галтели и повышением усталостной прочности на 10—15%.

Наиболее рациональной формой щеки является овальная.

									Лист
									27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ				



Для повышения прочности коленчатого вала применяют следующие упрочняющие процессы:

1. Азотирование — предел выносливости при изгибе (для хромолибденовой стали) повышается на 25—60%, а при кручении — на 30—40%; проведение механической обработки после азотирования не рекомендуется, так как при этом значительно снижается усталостная прочность.

2. Местное наклепывание путем накатки роликами галтелей и обжатия краев масляного отверстия стальным шариком — усталостная прочность коленчатых валов при изгибе увеличивается на 40%, а при кручении — на 20%.

3. Обдувка стальной дробью галтелей — предел выносливости при изгибе возрастает до 40% [1, с. 407].

#### 1.9 Возможные причины поломок коленчатых валов

Причиной большинства поломок коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей является усталость материала, возникающая вследствие наличия переменных напряжений изгиба и кручения.

Поломки коленчатых валов происходят часто и по другим причинам, снижающим прочность материала и вала в целом (дефекты материала и его механической и термической обработок, некачественная обработка галтелей и пр.) [2].

Поломки коленчатых валов, носящие усталостный характер, начинаются, как правило, в местах, где возникает концентрация напряжений — у краев масляных каналов в коренных и шатунных шейках или в галтелях, — в местах сопряжений щек с шейками.

Поломки коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей часто возникают под действием изгибающих моментов, действующих в плоскости кривошипа.

Поскольку по мере износа коренных и шатунных шеек величина их перекрытия и жёсткость щек уменьшается, опасность возникновения поломок коленчатого вала увеличивается.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Увеличение оборотности и механической напряженности коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей вызывает необходимость применения новых металлов для их изготовления.

Излом осевой линии коленчатого вала сверх допустимого может быть от неправильной укладки вала в коренных подшипниках, от неравномерного износа коренных подшипников и шеек вала, а также вследствие деформации рамы агрегата.

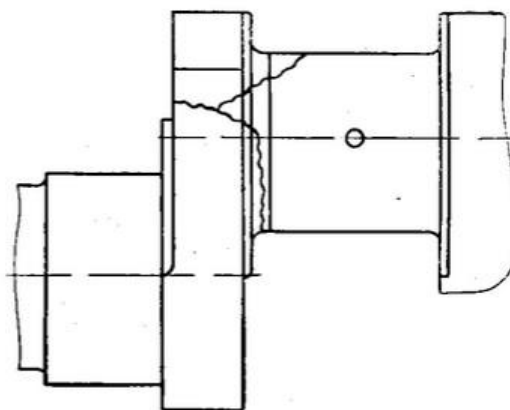


Рисунок 1.10- Вал с трещиной на галтели, щеке и шейке

Излом осевой линии вала, появившийся по перечисленным причинам, может быть сравнительно легко обнаружен при проверке расхождения щек коленчатого вала. Однако бывают случаи, когда недопустимый излом линии вала проявляется только при работе агрегата и, следовательно, не может быть обнаружен измерением расхождения щек.

Увеличенный изгиб вала может быть в случае, когда одна или несколько коренных шеек не прилегают к нижней части коренного подшипника в статическом положении вала или же вследствие неравномерного износа коренных подшипников и шеек коленчатого вала [3].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

Лист

29

## 1.10 О программной системе ANSYS

ANSYS Design Simulation имеет ассоциативную связь со сборкой, проектируемой в CAD-системе Autodesk Inventor, позволяет проанализировать различные варианты проектируемой сборки и в конечном счете, основываясь на обратной ассоциативной связи, оптимизировать конструкцию, избежать ошибок при производстве, исключить отказы и повторное конструирование.

Для того чтобы конструкторы-проектировщики в процессе работы могли получить полное представление о составе комплекта конструкторской документации на разрабатываемое изделие, в ходе проектирования можно использовать возможность интеграции систем Autodesk Inventor и

ANSYS – универсальная программная система конечно-элементного (КЭ) анализа, которая на протяжении последних 30 лет является одним из мировых лидеров в области компьютерного инжиниринга (CAE, Computer-Aided Engineering) и КЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

Программная система КЭ анализа ANSYS разрабатывается американской компанией ANSYS Inc., которая в течение последних нескольких лет входит в список наиболее быстро растущих и динамично развивающихся компаний США. Использование системы ANSYS дает возможность ее клиентам производить продукцию высокого качества и быстро добиваться успеха на рынке товаров и услуг. В течение этого времени фирма ANSYS Inc., непрерывно совершенствуя технологию, создает мощные, гибкие и удобные системы КЭ моделирования (ANSYS, DesignSpace, AI Solutions (NASTRAN, ICEM CFD)). Эти CAE-системы предназначены для использования в разных отраслях производства, где обеспечивают полноценную инженерную поддержку проектных разработок при максимальной эф-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

Лист
30

эффективности затрат на вычислительную технику и программные средства.

Компания ANSYS Inc следует подходу к проектированию и производству изделий, который опирается на расчет, строится с привязкой к анализу и позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа "проектирование – изготовление – испытания". В качестве стратегического партнера фирма сотрудничает со многими компаниями, помогая им провести необходимые изменения и сохранить первенство в конкурентной борьбе. Предлагаемые фирмой ANSYS Inc. средства численного моделирования и анализа удобны для пользователя, совместимы с другими пакетами, работают на различных платформах и позволяют решать связанные задачи механики и физики.

Программная система ANSYS является широко известной CAE-системой мирового уровня, которая используется на таких всемирно известных предприятиях, как ABB, BMW, Boeing, Caterpillar, Daimler-Chrysler, Exxon, FIAT, Ford, GeneralElectric, Lockheed, MeyerWerft, Mitsubishi, Siemens, Shell, Volkswagen-Audi и др., а также применяется на многих ведущих предприятиях промышленности РФ. Программная система ANSYS эффективно сопрягается с известными CAD-системами Unigraphics, CATIA, Pro/ENGINEER, Solid Edge, SolidWorks, Autodesk Inventor и др.

В настоящее время программная система ANSYS представляет собой многоцелевой пакет проектирования и анализа, признанный во всем мире. В настоящее время программа ANSYS насчитывает более 100 000 коммерческих и 100 000 университетских рабочих мест по всему миру. В СНГ коммерческие версии программы ANSYS приобрели и используют уже более 200 организаций. ANSYS был первым коммерческим конечноэлементным продуктом, получившим в свое время сертификат ISO. Сегодня все программные продукты ANSYS сертифицированы согласно серии стандартов ISO 9000,1.

Первая реализация программы значительно отличалась от последних ее версий и касалась только решения задач теплопередачи и прочности в линейной постановке. Как и большинство других программ того времени, она работала в пакетном режиме и лишь на "больших" машинах.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

Лист  
31

В начале 70-х годов 20-го века в систему было внесено много изменений в связи с внедрением новой вычислительной технологии и реализацией запросов пользователей. Были добавлены нелинейности различной природы, появилась возможность использовать метод под конструкций, была расширена библиотека конечных элементов. Компания обратила внимание на появившиеся в то время миникомпьютеры и векторные графические терминалы. В течение нескольких лет эти новые аппаратные средства были освоены программными разработками компании, породив новую эру компьютерного решения инженерных задач.

В конце 70-х гг. существенным дополнением к системе ANSYS явился интерактивный режим работы. Это значительно упростило процедуры создания КЭ модели и оценку результатов (пре- и пост-процессорная обработка). Стало возможным использовать интерактивную графику для проверки геометрии модели, заданных свойств материала и граничных условий перед началом счета. Графическая информация могла быть сразу же выведена на экран для интерактивного контроля результатов решения.

Сегодня ANSYS - это чрезвычайно мощная и удобная программная система. Каждая ее версия включает новые и расширяет прежние возможности системы, что делает ANSYS более быстродействующей, более гибкой и удобной в использовании. Эти ее качества помогают пользователям справиться с непрерывно возрастающими запросами современного промышленного производства [4].

ANSYS Design Simulation имеет ассоциативную связь со сборкой, проектируемой в CAD-системе Autodesk Inventor, позволяет проанализировать различные варианты проектируемой сборки и в конечном счете, основываясь на обратной ассоциативной связи, оптимизировать конструкцию, избежать ошибок при производстве, исключить отказы и повторное конструирование.

Для того чтобы конструкторы-проектировщики в процессе работы могли получить полное представление о составе комплекта конструкторской документации на разрабатываемое изделие, в ходе проектирования можно использовать возможность интеграции систем Autodesk Inventor.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

## 1.11 Описание системы ANSYS

ANSYS - это программный пакет конечно-элементного анализа, решающий задачи в различных областях инженерной деятельности (прочность конструкций, термодинамика, механика жидкостей и газов, электромагнетизм), включая связанные междисциплинарные задачи (термопрочность, магнитоупругость и т.п). ANSYS - это профессиональный конечно-элементный расчетный комплекс, позволяющий решать задачи прочности, теплообмена, электромагнетизма, гидрогазодинамики как по отдельности, так и совместно, в связанной постановке (т.н. 'multiphysics' или 'coupledfield'). Количество рабочих мест ANSYS в мире превышало 90000 коммерческих и 130000 университетских на 2003г.

Система ANSYS - это гибкое и надежное средство проектирования и анализа. Она работает в среде операционных систем самых распространенных компьютеров - от PC до рабочих станций, высокопроизводительных кластеров и суперкомпьютеров. Особенностью программной системы является файловая совместимость всех членов семейства ANSYS для всех используемых платформ. Многоцелевая направленность программы (т.е. реализация в ней средств для описания отклика или реакции сложной системы на воздействия различной физической природы) позволяет использовать одну и ту же модель для решения таких связанных задач, как прочность при тепловых нагрузках, влияние магнитных полей на прочность конструкции, тепломассоперенос в электромагнитном поле. Модель, созданная на PC, может использоваться на суперкомпьютере. Это обеспечивает всем пользователям ANSYS удобные возможности для решения широкого круга инженерных задач.

Как новичкам, так и опытным пользователям эта программа предлагает непрерывно растущий перечень расчетных средств, которые позволяют:

- учесть разнообразные конструктивные нелинейности;
- решить самый общий случай контактного взаимодействия для пространственных тел сложной конфигурации;
- допускают наличие больших (конечных) деформаций, перемещений и уг-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

Лист

33

лов поворота;

- выполнить многопараметрическую оптимизацию в интерактивном режиме;

- анализировать влияние электромагнитных полей;

- решать задач гидро- и аэродинамики,

- а также многое другое – вместе с параметрическим моделированием, адаптивным перестроением сетки, использованием р-элементов и обширными возможностями создания макрокоманд с помощью языка параметрического проектирования системы ANSYS – APDL.

Система меню (на основе разработки фирмы Motif) обеспечивает ввод данных и выбор действий программы с помощью панелей диалога, выпадающих меню и окон списка, помогая пользователю управлять программой. Средства твердотельного моделирования включают в себя представление геометрии, основанное на использовании сплайновой технологии NURBS, геометрических примитивов и операций булевой алгебры (выполняемых модулем SHAPES фирмы HOX Corp., который встроен в систему ANSYS).

Модуль системы ANSYS Design Data Access (DDA) обеспечивает передачу в программу моделей, созданных средствами компьютерного проектирования (CAD), что исключает повторение выполненной ранее конструктором работы. Назначение модуля DDA состоит в том, чтобы дать пользователю возможность получить результаты конечно-элементного анализа, которые в полной мере обусловлены исходной информацией, содержащейся в проектной разработке, а также предоставить современные и самые совершенные средства обмена данными. Программные средства серии DDA Connection могут работать совместно с разработками многих ведущих поставщиков CAD-программ, включая компании Parametric Technology Corporation, EDS/Unigraphics и Computervision Corporation. Последней версией этой серии является программное средство DDA Interactive, позволяющее использовать для конечно-элементного анализа непосредственно CAD-модели за счет современного интерфейса и установления взаимосвязи между CAD-информацией и данными, требующимися для проведения анализа. Кроме того,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

возможности анализа и оптимизации системы ANSYS легко переносятся на CAD-модели за счет использования форматов IGES и STEP для пересылки геометрии или соответствующего интерфейса ведущих CAD-программ [4].

Приложения ANSYS, по основным отраслям:

- Автомобилестроение
- Атомная энергетика
- Железнодорожный транспорт
- Судостроение
- Двигателестроение
- Строительная отрасль
- Электромашиностроение

### 1.12 SolidWorks

CAD-системы (аббревиатура от computer-aided design — компьютерная поддержка проектирования) предназначены для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации. Как правило, в современные CAD-системы входят модули моделирования трехмерной объемной конструкции (детали) и оформления чертежей и текстовой конструкторской документации (спецификации, ведомости и т. д.). Ведущие трехмерные CAD-системы позволяют реализовать идею сквозного цикла подготовки и производства сложных промышленных изделий. В настоящее время общепризнанным фактом является невозможность изготовления сложной наукоемкой продукции (кораблей, самолетов, танков, двигателей, различных видов промышленного оборудования и др.) без применения CAD-систем.

К середине 90-х годов многие конструкторы и технологи во всем мире практически одновременно пришли к одинаковому выводу — для того, чтобы повысить эффективность своего труда и качество разрабатываемой продукции, необходимо срочно переходить от работы в смешанной среде двумерной графики и трехмерного моделирования к использованию объемных моделей, в качестве ос-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

Лист  
35



новых объектов проектирования. В поисках максимально подходящей для решения поставленной задачи системы пользователи определили требования к ней: возможность эффективного твердотельного моделирования на промышленном уровне, стандартный и интуитивно понятный пользовательский интерфейс и, конечно, наиболее привлекательная цена при высокой эффективности пакета.

Впервые пакеты твердотельного параметрического моделирования с промышленными возможностями стали доступны пользователям персональных компьютеров лишь в 1995 году, который стал переломным для мирового рынка систем CAD/CAM массового применения. Одно из лучших решений такого уровня смогла предложить американская компания SolidWorks Corporation. Созданная в 1993 году, эта фирма уже через два года, в ноябре 1995, выпустила на базе геометрического ядра Parasolid свой первый программный продукт. Пакет твердотельного параметрического моделирования SolidWorks 95 сразу занял ведущие позиции среди продуктов этого класса, буквально ворвавшись в мировую «табель о рангах» систем CAD/CAM. За последние годы CAD-системы прошли путь от сравнительно простых чертежных приложений до интегрированных программных комплексов, обеспечивающих единую поддержку всего цикла разработки, начиная от эскизного проектирования и заканчивая технологической подготовкой производства, испытаниями и сопровождением.

В настоящее время SolidWorks 2012 завоевывает прочные позиции на промышленных машиностроительных предприятиях России, и широта области его использования продолжает увеличиваться. Локализация программы от самой фирмы SolidWorks и ориентация на использование Windows делает систему легко осваиваемой и быстро работающей. Система реализует классический процесс трехмерного параметрического проектирования — от идеи к объемной модели, от модели к чертежу. Несмотря на легкость освоения, в SolidWorks 2012 реализуются сложные геометрические построения благодаря использованию объемного ядра Parasolid при этом возможности твердотельного моделирования реализованные в системе, вполне сопоставимы с возможностями систем "тяжелого" класса, работающих на платформе UNIX [5].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ

Лист
36

## 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В России в настоящее время полностью отсутствует производство поршневых авиадвигателей для беспилотной авиации и легких самолетов и вертолетов, что заставляет отечественных конструкторов применять авиадвигатели зарубежного производства.

Концепция разработки дизельного двигателя для малой и беспилотной авиации, а также судов на воздушной подушке, может быть принята как вариант применения отработанных конструкторских решений при создании танкового двигателя типа В-2.

В предвоенный период, для вооружения красной армии, этот тип двигателей предполагалось использовать для установки на самолет – разведчик. Этим обстоятельством был обусловлен выбор материала деталей и узлов двигателя, широким применением алюминиевых сплавов обладающих низким удельным весом и повышенными прочностными свойствами. В этой связи достаточно отметить, что по таким параметрам, как габаритная и удельная мощность двигателя типа В-2, до сих пор превосходит некоторые зарубежные аналоги.

Поэтому тема проекта является актуальной, так как в дипломной работе оценивается возможность использования танкового дизеля при разработке ДВС для малой авиации.

Целью данного проекта является оценка возможности использования конструктивных особенностей танкового дизеля при разработке ДВС для малой авиации.

Для осуществления цели необходимо:

1. Изучить виды поршневых авиационных ДВС, танковый двигатель(тип В-2), авиационный двигатель (АН-1), конструкции коленчатых валов;
2. Ознакомиться с программами Solidworksv2012, ANSYSv14.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

3. Вычислить нагрузки, действующие на блок-картер 12 цилиндрического V-образного двигателя.
4. Исследовать прочностные характеристики блок-картера.
5. Исследовать прочностные характеристики коленчатого вала.
6. Выполнить гидродинамический расчет шатунных и коренных подшипников.
7. Выполнить численные эксперименты.
8. Обработать результаты численных исследований.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как следует из результатов предварительного расчета параметров рабочего процесса двигателя «типа 10/12», для режима максимального крутящего момента, значения основных температурных и динамических параметров не выходят за рамки допустимых, следовательно, тепловое и напряженно-деформированное состояние деталей образующих камеру сгорания, а также базовых деталей ЦПГ и КШМ предполагают работу двигателя на всех эксплуатационных режимах.

Анализ массомощностных показателей отечественных двигателей показал, что наиболее подходящим по такому параметру как отношение мощности двигателя к весу, являются двигатели типа В-2, у которых этот параметр соответствует примерно 1,11.

Для разработки конструкции такого двигателя, целесообразно рассмотреть и использовать наиболее отработанные технические решения, которые были использованы при создании двигателей типа В-2. К таким техническим решениям можно отнести широкое применение алюминиевых сплавов для изготовления блоков, картера, блоков головок цилиндров и других деталей. Кроме этого, на основании принципов геометрического подобия, целесообразно рассмотреть конструкцию двигателя с размерностью соответствующей коэффициенту подобия 0,75 – размерность серийно выпускаемых двигателей типа В-2.

Задача по достижению минимальных массовых параметров двигателя может быть решена на основе использования современных алюминиевых сплавов с высокими прочностными характеристиками.

В качестве материала, направленного на снижение массы двигателя и достижения достаточной прочности может быть рекомендован алюминиевый сплав АЛ4МС, разработанный всероссийским институтом авиационных материалов (ВИ-АМ)

										Лист
										83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ					

Использование этого сплава позволяет получать высокие прочностные и технологические свойства деталей двигателя. Сплав АЛ4МС представляет собой медистый силумин со скандием (системы AL – Si – Cu – Mg), что позволяет с использованием способа литья по газифицируемым и выжигаемым моделям, сплав АЛ4МС обеспечивает временное сопротивление при литье в кокиль около 360...400 МПа, при этом следует отметить, что применение скандия существенно повышает физические свойства материала и использовать данные сплавы для производства литых деталей работающих при температуре до + 250<sup>0</sup>С.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ховак М.С., Маслов Г.С. «Автомобильные двигатели». Изд. 2-е, пер. и доп. М., «Машиностроение», 1971, стр. 456.
2. Попык К.Г. «Конструирование и расчет автомобильных и тракторных двигателей». Изд. 2-е. М.: Машиностроение, 1973.-221
3. Храпач Г.К. «Надежность поршневых газоперекачивающих агрегатов».1978.-87
4. О программной системе ANSYS. <http://www.ik.3dscorpion.com/>.
5. Описание системы автоматизированного проектирования SolidWorks 2012. <http://solidworks.com/>.
6. Дударева Н., Загайко С. - Самоучитель SolidWorks 2007 (В подлиннике) – 2007. – 1304 с.
7. Амрамишвили М.М., Чистяков К.В. Динамическая напряженность коленчатого вала и его опор V-образного восьмицилиндрового двигателя, работающего по внешней скоростной и нагрузочной характеристикам /Двигателестроение, 1990.- № 1. – С. 10-12.
8. Биргер, И.А. Расчеты на прочность деталей машин: Справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич.- М.: Машиностроение, 1979.-702 с.
9. Прокопьев, В.Н. Динамика и смазка трибосопряжений поршневых и роторных машин: монография // В.Н. Прокопьев, Ю.В. Рождественский, В.Г. Караваев, Е.А. Задорожная, А.К. Бояршинова и др. / Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – Ч. 2. –136 с.
10. Маслов А.П., Использование технических решений апробированных в танковом дизеле, при создании легких дизелей/ Н.А. Хозенюк, А.Д. Коломиец // Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

11. Стратегия развития двигателестроения России на период до 2020 года.  
// Двигателестроение. – 2016. - №1. – С. 3-7.

12. Стратегия развития двигателестроения России на период до 2020 года.  
// Двигателестроение. – 2016. - №2. – С. 3-18.

13. Еникеев Р.Д., Иванов В.Ю., Михайлов В.С., Нурмухаметов В.Ф., Павлич С.П., Черноусов А.А. Расчетно-экспериментальное совершенствование процессов газообмена двигателя АПД-800.// Вестник УГАТУ. 2010. Т.14, № 2 (37). С. 13–20.

14. Гончаренко Е.С., Корнышева И.С. Литейный алюминиевый сплав АЛ4МС для агрегатного литья. // Технология легких сплавов. -2009. №3. – С. 99-101.

					23.04.03.2017.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 5 – Индикаторная диаграмма

$\alpha$ , УПКВ	P, МПа		
0	0,286	390	10,220
10	0,286	400	7,030
20	0,286	410	4,970
30	0,286	420	3,660
40	0,286	430	2,810
50	0,286	440	2,240
60	0,286	450	1,850
70	0,286	460	1,574
80	0,286	470	1,371
90	0,286	480	1,226
100	0,286	490	1,210
110	0,286	500	1,045
120	0,286	510	0,993
130	0,286	520	0,958
140	0,286	530	0,938
150	0,286	540	0,9310
160	0,286	550	0,257
170	0,286	560	0,257
180	0,266	570	0,257
190	0,268	580	0,257
200	0,274	590	0,257
210	0,284	600	0,257
220	0,299	610	0,257
230	0,322	620	0,257
240	0,352	630	0,257
250	0,395	640	0,257
260	0,455	650	0,257
270	0,540	660	0,257
280	0,655	670	0,257
290	0,852	680	0,257
300	1,146	690	0,257
310	1,629	700	0,257
320	2,459	710	0,257
330	3,940	720	0,257
340	6,517		
350	10,118		
360	15,350		
370	18,210		
380	14,630		



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 6 - Механические свойства. Сталь 18Х2Н4МА

Термообработка, состояние поставки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$d_s$ , %	$y$ , %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	НВ	НRC <sub>3</sub>
<i>Пруток. Закалка 950 °С, воздух. Закалка 860 °С, воздух. Отпуск: 200 °С, воздух или масло</i>								
	15	835	1130	12	50	98		
<i>Пруток. Закалка 950 °С, воздух. Закалка 860 °С, воздух. Отпуск: 550 °С, воздух или масло</i>								
	15	785	1030	12	50	118		
<i>Поковки. Закалка. Отпуск.</i>								
КП 685	300-500	685	835	11	33	39	262-311	
КП 735	100-300	735	880	12	35	49	277-321	
КП 785	<100	785	930	12	40	59	293-331	
<i>Отжиг 890-910 °С, охлаждение с печью</i>								
	300	390	620	10	25		265	
<i>Нормализация 920-980 °С, воздух. Отпуск 630-680 °С, воздух.</i>								
		590	780		60		197-269	
<i>Цементация 920-950 °С. Нормализация 900-950 °С, воздух. Закалка 900-950 °С, масло. Отпуск (двойной) 630-650 °С, воздух.</i>								
	80	1270	1370	12		88	321-400	57