

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по дисциплине «Конструирование ДВС»

Уфа 2007

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра двигателей внутреннего сгорания

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по дисциплине «Конструирование ДВС»

Уфа 2007

Составители: Н.Ю. Дударева, Р.Д. Еникеев, С.А. Загайко

УДК 621.43.001.24 (07)

ББК 31.365 (я7)

Лабораторный практикум по дисциплине «Конструирование ДВС» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Н.Ю. Дударева, Р.Д. Еникеев, С.А. Загайко. – Уфа, 2007. – 54 с.

В работе двигатель внутреннего сгорания рассматривается как сложная техническая система, требующая многоаспектного изучения его конструкции. Поэтому лабораторные работы построены таким образом, чтобы студенты могли, последовательно изучая узлы и механизмы двигателя, понять все многообразие конструктивных решений.

В лабораторном практикуме дан порядок изучения конструкций двигателей с принудительным воспламенением и дизелей, а также даны рекомендации по прочностному расчету основных деталей и узлов ДВС.

Предназначен для подготовки бакалавров по направлению 140500 – «Энергомашиностроение» и дипломированных специалистов по направлению 140500 специальности 140501 – «Двигатели внутреннего сгорания», изучающих дисциплину «Конструирование ДВС».

Ил. 3. Табл. 13. Библиогр.: 11 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. Ахмедзянов Д.А.;
ст. преп. Атанов С.Н.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Раздел 1. Устройство и работа поршневых и комбинированных ДВС	
Лабораторная работа № 1	
Тепловые двигатели. Устройство, работа, конструктивные решения	
1. Цель работы	12
2. Порядок выполнения работы	12
3. Вопросы для контроля	15
Лабораторная работа № 2	
Корпусные детали и кривошипно-шатунный механизм двигателей	
1. Цель работы	16
2. Порядок выполнения работы	16
3. Вопросы для контроля	19
Лабораторная работа № 3	
Механизм газораспределения двигателей	
1. Цель работы	21
2. Порядок выполнения работы	21
3. Вопросы для контроля	23
Лабораторная работа № 4	
Разборка и сборка двухтактного двигателя	
1. Цель работы	25
2. Порядок выполнения работы	25
3. Разборка двигателя ЭМ-100	25
4. Сборка двигателя ЭМ-100	26
5. Перечень инструментов и приспособлений	27
6. Вопросы для контроля	27
Лабораторная работа № 5	
Разборка и сборка четырехтактного двигателя	
1. Цель работы	29
2. Порядок выполнения работы	29
3. Вопросы для контроля	29
Лабораторная работа № 6	
Определение прочностных свойств деталей ЦПГ и КШМ	
1. Цель работы	31
2. Теоретические основы	31

3. Необходимое оборудование.....	40
4. Порядок выполнения работы.....	40
5. Анализ результатов.....	40
6. Вопросы для контроля.....	41

**Раздел 2. Методы расчета прочностной и триботехнической
надежности**

Лабораторная работа № 1

**Расчет двигателя в СИМ «Альбея» и получение усилий,
действующих на детали КШМ**

1. Цель работы.....	42
2. Необходимое оборудование.....	42
3. Порядок выполнения работы.....	42
4. Вопросы для контроля.....	44

Лабораторная работа № 2

**Расчет теплонапряженного состояния деталей ЦПГ методом
конечных элементов**

1. Цель работы.....	45
2. Необходимое оборудование.....	45
3. Порядок выполнения работы.....	45
4. Вопросы для контроля.....	47

Лабораторная работа № 3

**Расчет теплонапряженного состояния деталей КШМ методом
конечных элементов**

1. Цель работы.....	48
2. Необходимое оборудование.....	48
3. Порядок выполнения работы.....	48
4. Вопросы для контроля.....	50

Лабораторная работа № 4

**Расчет теплонапряженного состояния корпусных деталей
методом конечных элементов**

1. Цель работы.....	51
2. Необходимое оборудование.....	51
3. Порядок выполнения работы.....	51
4. Вопросы для контроля.....	53
Список литературы.....	54

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Конструирование двигателей внутреннего сгорания» является дисциплиной специального цикла учебного плана направления 140500 – «Энергомашиностроение» и специальности 140501 – «Двигатели внутреннего сгорания» направления подготовки дипломированных специалистов 140500. Содержание программы определяется требованиями к обязательному минимуму содержания дисциплины «Конструирование двигателей внутреннего сгорания» Государственных образовательных стандартов по направлению 140500 и специальности 140501 направления подготовки дипломированных специалистов 140500.

Дисциплина «Конструирование двигателей внутреннего сгорания» ставит своей целью дать всестороннее функционально-временное и конструкционное описание двигателей внутреннего сгорания, их классификацию, правила конструирования двигателей и их элементов, способы повышения их прочностной и триботехнической надежности, современные методы расчета, применяемые в двигателестроении для определения полей температур, напряжений и деформаций, общую характеристику и специфику автоматического проектирования двигателей.

В соответствии с образовательным стандартом в результате изучения дисциплины «Конструирование двигателей внутреннего сгорания» студенты должны знать:

- принципы работы, технические характеристики, конструктивные особенности разрабатываемых и используемых технических средств, материалов и их свойства;
- основные требования, предъявляемые к технической документации, материалам и изделиям;
- методы проведения технических расчетов и определения экономической эффективности исследований и разработок;
- достижения науки и техники, передовой и зарубежный опыт в соответствующей области знаний;
- методы осуществления научно-исследовательской, проектно-конструкторской, технологической работы по созданию и внедрению в производстве энергетического оборудования, их элементов и узлов;

- новые эффективные рабочие процессы, системы, узлы и детали двигателей и установок;
- автоматизированные системы проектирования, изготовления и испытания;
- основные направления научно - технического прогресса в энергомашиностроении;
- новые направления по улучшению технико-экономических показателей оборудования, связанных с решением энергетических и экологических проблем современной цивилизации;
- типовые и авторские методики инженерных расчетов;
- специальную литературу и другие информационные данные (в том числе на иностранном языке) для решения профессиональных задач;
- методы моделирования, расчета и экспериментальных исследований для разработки новых эффективных конструкций оборудования, а также методы обработки экспериментальных данных и оценки погрешностей аналитических расчетов;
- методы конструирования и проектирования для создания типовых, нестандартных и принципиально новых перспективных энергоустановок;
- формулировать цели проекта (программы) решения задач, выявлять приоритеты решения задач;
- использовать информационные технологии при проектировании и конструировании энергетического оборудования и систем;
- находить компромисс между различными требованиями (к стоимости, качеству, безопасности и срокам исполнения) как при долгосрочном, так и при краткосрочном планировании.

Студенты должны владеть:

- навыками работы с технологической документацией, технической литературой, научно - техническими отчетами, справочниками и другими информационными источниками;
- навыками составления программ компьютерных расчетов параметров и технологических процессов, пользования вычислительной техникой для решения специальных задач;

- методами выполнения инженерных расчетов по основным типам профессиональных задач;
- методами технико-экономического анализа разработок в области энергомашиностроения.

Развитию этих знаний и умений служат лабораторные работы и практические занятия.

Основная цель лабораторных работ – изучение работы, конструкции и правил проектирования и конструирования ДВС, а также получение навыков практического конструирования и расчета ДВС. Кроме того, лабораторные работы должны предоставить возможность студентам увидеть сложный и объемный курс в целом, уяснить место и значение составляющих его разделов в общем объеме курса, а курса в целом – в общей системе подготовки, что необходимо, в частности, для осознанного выбора элективных курсов специального цикла. Вопросы, содержащиеся в работе, могут быть полезны для текущей самоподготовки по разделам курса, а также для подготовки к выпускному междисциплинарному экзамену.

Все лабораторные работы дисциплины «Конструирование ДВС» увязаны с практическими занятиями и выполнением внеаудиторной самостоятельной работы. В результате самостоятельной работы, практических занятий и лабораторных работ студенты выполняют проект двигателя, включающий основные расчеты, проводимые вручную и с использованием программных комплексов, а также базовую конструкторскую документацию.

Выполнение проекта начинаются с задания исходных данных, представляющих собой «Техническое задание на проектирование двигателя». Техническое задание на проектирование может быть выдано научным руководителем индивидуальной исследовательской работы студента или получено при помощи генератора заданий. Генератор заданий представлен в табл. В1. Все студенты проектируют бензиновый двигатель с непосредственным впрыском топлива в цилиндры, если иное не предусмотрено в Техническом задании научного руководителя.

Генератор заданий

Буква в фамилии			Частота вращения вала n , об/мин	Мощность двигателя N_e , кВт	Количество цилиндров / секций	Схема КШМ/ Тактность
А	Л	Х	4500	50	2	Рядная / 4
Б	М	Ц	4600	55	4	ПДП / 2
В	Н	Ч	4700	60	2	Рядная / 4
Г	О	Ш	4800	65	4	ПДП / 2
Д	П	Щ	4900	70	2	Рядная / 4
Е	Р	Ы	5000	75	4	ПДП / 2
Ж	С	Ь	5100	80	2	Рядная / 4
З	Т	Э	5200	85	4	ПДП / 2
И	У	Ю	5300	90	2	Рядная / 4
К	Ф	Я	5400	95	4	ПДП / 2
			По 1-й букве	По 2-й букве	По 3-й букве	По 4-й букве

Параметры генератора заданий обозначают следующее:

Частота вращения вала – номинальная частота вращения коленчатого вала.

Мощность двигателя – эффективная мощность двигателя на номинальной частоте вращения двигателя.

Количество цилиндров/секций – количество цилиндров при рядной схеме КШМ и количество секций при схеме КШМ с противоположно-движущимися поршнями (ПДП). При этом необходимо учитывать, что в одной секции двигателя располагается 2 поршня.

Схема КШМ/Тактность – конструктивная схема двигателя и тактность рабочего цикла двигателя.

Выполнение проекта производится по следующему плану:

1. Подобрать недостающие исходные данные.
2. Выполнить тепловой расчет двигателя.
3. Определить основные индикаторные и эффективные показатели двигателя.
4. Определить основные параметры рабочей камеры.
5. Построить индикаторную диаграмму.
6. Рассчитать тепловой баланс.

7. Произвести кинематический и динамический расчеты двигателя.

8. Произвести уравновешивание двигателя.

9. Выполнить прочностной расчет деталей поршневой группы, шатунной группы, коленчатого вала, элементов корпуса.

10. Собрать расчетную схему проектируемого двигателя в системе имитационного моделирования «Альбея» по данным, полученным расчетным путем.

11. Рассчитать индикаторные и эффективные показатели двигателя по внешней скоростной характеристике с учетом газообмена.

12. Сравнить результаты проектирования, полученные расчетным путем и путем моделирования в системе «Альбея».

13. Оценить прочностную и триботехническую надежность элементов двигателя с помощью программных комплексов COSMOS-Works и COSMOSMotion.

14. Разработать эскизы продольного и поперечного разрезов ДВС в системе SolidWorks, а также оформить результаты выполнения проекта (пояснительная записка).

Основную канву проекта задает план внеаудиторной самостоятельной работы. Практические занятия и лабораторные работы развивают навыки выполнения определенных этапов проектирования.

Планы лабораторных работ и практических занятий

Поскольку лабораторные работы увязаны с практическими занятиями, то ниже приведены планы практических занятий и лабораторных работ по разделам дисциплины.

Раздел 1. Устройство и работа поршневых и комбинированных ДВС

Планы практических занятий раздела 1

Практическое занятие № 1. Выдача заданий по самостоятельной работе. Разбор примера. Выбор недостающих исходных данных для теплового расчета. Тепловой расчет двигателя. Определение основных индикаторных и эффективных показателей двигателя. Основные параметры цилиндра и двигателя. Построение индикаторной диаграммы. Тепловой баланс.

Практическое занятие № 2. Подбор размеров деталей КШМ и кинематический расчет двигателя: перемещение, скорость и ускоре-

ние поршня через 20 град. ПКВ для четырехтактного ДВС или через 10 град. ПКВ для двухтактного ДВС. Приведение масс частей КШМ и динамический расчет (силы инерции, суммарные силы, действующие в КШМ, силы на шатунные и коренные шейки). Уравновешивание двигателя. Обеспечение равномерности хода поршня.

Практическое занятие № 3. Прочностной расчет поршня: определение нагрузок на поршень и расчет напряжений в опасных сечениях поршня. Сравнение с допускаемыми напряжениями.

Прочностные расчеты деталей ЦПГ: поршневых колец и поршневого пальца: определение нагрузок на поршневое кольцо и поршневой палец, расчет напряжений в опасных сечениях этих деталей. Сравнение с допускаемыми напряжениями и запасами прочности.

Практическое занятие № 4. Прочностной расчет шатуна: определение нагрузок на шатун и расчет напряжений в опасных сечениях шатуна. Сравнение с допускаемыми напряжениями и запасами прочности.

Практическое занятие № 5. Прочностной расчет коленчатого вала: определение нагрузок на коленчатый вал и расчет напряжений в опасных сечениях коленчатого вала. Сравнение с допускаемыми напряжениями и запасами прочности.

Практическое занятие № 6. Расчет газораспределительного механизма. Прочностной расчет корпуса двигателя: определение нагрузок на стенку цилиндра или гильзу цилиндра и расчет напряжений в опасных сечениях. Сравнение с допускаемыми напряжениями. Защита заданий по самостоятельной работе.

Планы лабораторных работ раздела 1

Лабораторная работа № 1. Тепловые двигатели. Устройство, работа, конструктивные решения. Место проведения: кабинет конструкций ДВС, музей авиационных двигателей, лаборатории кафедры ДВС.

Лабораторная работа № 2. Корпусные детали и кривошипно-шатунный механизм. Функции, условия работы, материалы, технологии, конструктивные решения. Роторно-поршневой двигатель Ванкеля. Устройство, работа, конструктивные решения.

Лабораторная работа № 3. Газораспределительный механизм. Функции, условия работы, материалы, технологии, конструктивные решения.

Лабораторная работа № 4. Разборка и сборка двухтактного двигателя.

Лабораторная работа № 5. Разборка и сборка четырехтактного двигателя.

Лабораторная работа № 6. Определение прочностных свойств деталей ЦПГ, КШМ и корпусных деталей.

Раздел 2. Методы расчета прочностной и триботехнической надежности

Планы практических занятий раздела 2

Практическое занятие № 1. Формирование исходных данных для расчета двигателя в системе имитационного моделирования «Альбея». Разбор примера. Сборка расчетной схемы проектируемого двигателя в СИМ «Альбея» [2, 3] по данным, полученным расчетным путем на практических и лабораторных занятиях в 7 семестре. Задание исходных данных по модулям.

Практическое занятие № 2. Расчет индикаторных показателей по внешней скоростной характеристике спроектированного двигателя с учетом газообмена в цилиндре. Сравнение и анализ результатов проектирования двигателя, полученных расчетным путем и путем моделирования в СИМ «Альбея». Подготовка исходных данных для прочностного расчета методом МКЭ деталей ДВС. Разбор примера задания граничных условий и нагрузок для прочностного расчета деталей.

Планы лабораторных работ раздела 2

Лабораторная работа № 1. Расчет проектируемого двигателя в системе имитационного моделирования «Альбея» и получение усилий, действующих на детали КШМ.

Лабораторная работа № 2. Расчет теплонапряженного деформированного состояния (ТНДС) деталей поршневой группы (поршня, поршневых колец, поршневого пальца) методом конечных элементов (КЭ).

Лабораторная работа № 3. Расчет ТНДС деталей КШМ (шатунa, шатунных и коренных подшипников, коленчатого вала) методом КЭ.

Лабораторная работа № 4. Расчет ТНДС корпусных деталей методом КЭ. Защита заданий по самостоятельной работе.

РАЗДЕЛ 1. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПОРШНЕВЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ ДВС

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ. УСТРОЙСТВО, РАБОТА, КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

1. Цель работы

Целью работы является изучение принципа работы тепловых двигателей, а также конструктивные исполнения поршневых двигателей внутреннего сгорания.

2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы необходимо рассмотреть принципы и показатели работы поршневых и комбинированных двигателей, конструкции основных механизмов и узлов.

В работе следует использовать узлы, агрегаты, двигатели, плакаты и демонстрационные материалы, находящиеся в кабинете конструкций ДВС.

При изучении принципа действия поршневых комбинированных двигателей внутреннего сгорания следует обратить внимание:

- на устройство и работу четырехтактных двигателей внутреннего сгорания;
- на устройство и работу двухтактных двигателей внутреннего сгорания;
- на показатели и характеристики двигателей;
- на принципы регулирования мощности и частоты вращения коленчатого вала двигателя.

При изучении конструктивных решений обратить внимание:

- на основные механизмы и системы двигателей;
- на конструкции автомобильных двигателей;
- на конструкции тракторных двигателей;
- на конструкции тепловозных двигателей;
- на конструкции двухтактных двигатели с противоположно-движущимися поршнями;
- на конструкции судовых комбинированных двигателей;
- на конструкции мотоциклетных и лодочных двухтактных двигателей;
- на конструкцию роторно-поршневого двигателя;

- на конструкцию свайных дизель-молотов;
- на конструкции авиационных поршневых ДВС;
- на конструкцию двигателя Стирлинга.

В качестве отчета по лабораторной работе заполните нижеследующую табл. 1.1. В процессе работы группа студентов может разбиться на несколько подгрупп. Каждая подгруппа может изучать от одного до нескольких двигателей в зависимости от ее численности.

Т а б л и ц а 1 . 1

Форма отчета

Двигатель	М-412 (Москвич)	ВАЗ-2101 (Жигули)	МеМЗ-966 (Запорожец)	УМЗ-341
	432 (Рысь)	ВАЗ-311 (роторн.)	ЗМЗ М20 (Победа)	ЗМЗ М21 (Волга)
	Honda	АИ14 (авиаци.)	Д50 (дизель)	Д21 (дизель)
1	2	3	4	5
Число цилиндров				
Расположение цилиндров				
Порядок работы цилиндров				
Тактность двигателя				
Диаметр цилиндра				
Ход поршня				
Рабочий объем				
Степень сжатия				
Направление вращения коленчатого вала				
Привод ГРМ				
Расположение распределительного вала				
Расположение клапанов				
Привод клапанного механизма				
Количество клапанов на цилиндр				

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5
Топливо				
Система впуска				
Тип воздушного филь- тра				
Схема газообмена				
Система питания				
Тип топливного филь- тра				
Тип подкачивающего насоса				
Тип насоса высокого давления				
Тип камеры сгорания				
Система смазки				
Тип масляного филь- тра				
Система вентиляции картера				
Система охлаждения				
Охлаждающая среда				
Система зажигания				
Система запуска				
Система выпуска и нейтрализации отра- ботанных газов				
Система управления двигателем				
Средняя скорость поршня				
Литровая мощность				
Удельная масса				

Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

3. Вопросы для контроля

1. Дайте определение теплового двигателя.
2. Дайте определение двигателя внутреннего сгорания.
3. Дайте определение двигателя внешнего сгорания.
4. Что такое двигатель простого действия?
5. Что такое двигатель двойного действия?
6. Что такое дизельный двигатель?
7. Что такое двигатель с воспламенением от внешнего источника?
8. Что такое двигатель с воспламенением от сжатия?
9. Что такое калоризаторный двигатель?
10. Что такое конвертируемый двигатель?
11. Что такое комбинированный двигатель?
12. Что такое газовый двигатель?
13. Что такое многотопливный двигатель?
14. Что такое двигатель с V-образным расположением цилиндров?
15. Что такое двигатель с противоположно движущимися поршнями?
16. Что такое оппозитный двигатель?
17. Что такое реверсивный двигатель?
18. Что такое тронковый двигатель?
19. Что такое крейцкопфный двигатель?
20. Что такое свободно-поршневой двигатель?
21. Что такое рабочий процесс двигателя?
22. Назовите основные преимущества комбинированного двигателя.
23. Что называется рабочим циклом ДВС?
24. Дайте определение эффективной мощности двигателя.
25. Дайте определение механического КПД двигателя.
26. Дайте определение эффективного КПД.
27. Какие типы смесеобразования и регулирования могут использоваться в бензиновых ДВС?
28. Перечислите основные механизмы и системы поршневого двигателя, без которых невозможно осуществление рабочего цикла.
29. Перечислите схемы газообмена двухтактных ДВС.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. КОРПУСНЫЕ ДЕТАЛИ И КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. Цель работы

Целью работы является изучение конструкции корпусных деталей и кривошипно-шатунного механизма (КШМ) поршневых двигателей внутреннего сгорания.

2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы необходимо рассмотреть условия работы и устройство блоков цилиндров и головок, коленчатого вала и его подшипников, цилиндров, поршневых колец, шатунов поршневых двигателей, а также устройство и работу роторно-поршневых двигателей (РПД). При изучении РПД следует разобраться в их преимуществах и недостатках по сравнению с ДВС с КШМ.

В работе следует использовать детали, узлы, агрегаты, двигатели, плакаты и демонстрационные материалы, находящиеся в кабинете конструкций ДВС.

При изучении корпусных деталей двигателей следует обратить внимание:

- на конструкции блоков, число и расположение цилиндров, гильз и их уплотнения;
- на наличие масляных каналов и их назначение;
- на устройство переднего и заднего уплотнений коленчатого вала.

При изучении КШМ обратить внимание:

- на число и расположение шеек коленвала, назначение и конструкцию противовесов;
- на устройство переднего и заднего концов вала (увязав с устройством уплотнения);
- на назначение каналов и полостей в теле вала;
- на способы фиксации валов от осевых перемещений;
- на материал коленчатых валов;
- на конструкцию подшипников (скольжения и качения);
- на сплавы, применяемые для вкладышей подшипников;
- на величины зазоров в коренных и шатунных подшипниках;
- на конструкцию поршней (форму головки, сечения поршня) и их материалы;

- на способы крепления и фиксации поршневого пальца, требования к материалу пальца;
- на конструкцию поршневых колец и величину зазора между поршнем и кольцом, насосное действие колец;
- на конструкцию шатунов (стержня шатуна, верхней и нижней головок);
- на величину зазора между поршнем и цилиндром и способы соединения поршня с шатуном.

В качестве отчета по лабораторной работе заполните нижеследующую табл. 2.1. В процессе работы группа студентов может разбиться на несколько подгрупп. Каждая подгруппа может изучать от одного до нескольких двигателей в зависимости от ее численности.

Таблица 2.1

Форма отчетности

Двигатель	М-412 (Москвич)	ВАЗ-2101 (Жигули)	МеМЗ-966 (Запоро- жец)	УМЗ-341
	432 (Рысь)	ВАЗ-311 (роторн.)	ЗМЗ М20 (Победа)	ЗМЗ М21 (Волга)
	Honda	АИ14 (авиац.)	Д50 (дизель)	Д21 (дизель)
1	2	3	4	5
Силовая схема				
Способ уплотнения газового стыка				
Тип коленчатого вала (полноопорный или нет)				
Число шатунных шеек				
Число коренных шеек				
Наличие противовесов				
Тип переднего уплот- нения коленвала				
Устройство переднего носка коленвала				
Тип заднего уплотне- ния коленчатого вала				

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5
Устройство заднего носка коленвала				
Имеется ли канал в полости коленчатого вала				
Способ фиксации вала от осевого перемещения				
Материал коленчатого вала				
Тип шатунных подшипников коленчатого вала				
Материал шатунного подшипника				
Зазор в шатунном подшипнике скольжения				
Тип коренных подшипников коленчатого вала				
Материал коренного подшипника				
Зазор в коренном подшипнике скольжения				
Форма головки поршня				
Материал поршня				
Количество поршневых колец (компрессионных / маслосъемных)				
Профиль компрессионных поршневых колец				

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5
Зазор в замке компрессионных колец				
Материал компрессионных колец				
Тип маслосъемных колец				
Материал маслосъемных колец				
Способ фиксации поршневого пальца				
Материал поршневого пальца				
Тип шатуна				
Конструкция поршневой головки шатуна				
Профиль стержня шатуна				
Конструкция кривошипной головки шатуна				
Материал шатуна				

Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

3. Вопросы для контроля

1. Перечислите основные детали КШМ и расскажите о назначении каждой из них.
2. Охарактеризуйте условия работы цилиндра и головки двигателя.
3. Какие преимущества имеют блоки со вставными гильзами цилиндров?
4. Как производится уплотнение посадочных мест гильз в блоке?
5. Чем отличаются головки цилиндров карбюраторного двигателя, двигателя с непосредственным впрыском легкого топлива и дизеля?

6. Как обеспечивается уплотнение между блок-картером и головкой цилиндров?
7. Перечислите преимущества и недостатки поршней, изготавливаемых из чугуна и легких сплавов.
8. Какое назначение имеет углубление в днище поршней и ребра с внутренней стороны поршня?
9. Для чего нужны прорези в направляющей части поршня?
10. Для чего направляющей части поршня придают эллиптическую форму?
11. Какие кольца называются скручивающимися и как надлежит устанавливать их на поршень?
12. Расскажите о назначении, конструкции и работе маслосъемных колец.
13. Как повышают износостойкость колец?
14. Перечислите и сравните способы крепления поршневых пальцев, предотвращающие от осевых перемещений.
15. Какие условия определяют размер и конструкцию нижней головки шатуна?
16. Объясните назначение продольного канала в стержне шатуна, назначение отверстий или распылителя в поршневой головке шатуна.
17. Перечислите подшипниковые сплавы, применяемые в авто-тракторных двигателях.
18. Перечислите основные элементы коленчатого вала и расскажите об их назначении.
19. Каково назначение противовесов коленчатого вала?
20. Для чего нужно и как работает устройство центробежной очистки масла в коленчатом валу?
21. Объясните способы ограничения осевого перемещения коленчатого вала двигателя.
22. Расскажите о конструкциях коренных подшипников.
23. Расскажите о назначении и конструкции маховика двигателя.
24. Объясните назначение меток на ободу маховика.
25. Перечислите основные детали и узлы РПД Ванкеля.
26. Расскажите принцип работы РПД Ванкеля.
27. Назовите преимущества и недостатки РПД в сравнении с поршневым ДВС.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. МЕХАНИЗМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. Цель работы

Целью работы является изучение конструкции газораспределительных механизмов (ГРМ) различных типов поршневых двигателей внутреннего сгорания.

2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы необходимо рассмотреть устройство механизма газораспределения и способы смазки деталей ГРМ двигателей, находящихся в кабинете конструкций ДВС.

При изучении ГРМ двигателей следует обратить внимание:

- на расположение и крепление деталей механизма газораспределения на двигателе и их взаимодействие при работе, условия их работы и способы смазки;

- на порядок расположения кулачков на распределительном вале, их профиль, способы ограничения осевого перемещения вала;

- на способы крепления клапанной пружины для удержания ее в сжатом состоянии, диаметры тарелок впускных и выпускных клапанов, назначение зазора в сопряжениях: клапан-толкатель, клапан-коромысло;

- на способы привода распределительного вала в зависимости от места его расположения.

В работе следует использовать детали, узлы, агрегаты, двигатели, плакаты и демонстрационные материалы, находящиеся в кабинете конструкций ДВС.

В качестве отчета по лабораторной работе заполните нижеследующую табл. 3.1. В процессе работы группа студентов может разбиться на несколько подгрупп. Каждая подгруппа может изучать от одного до нескольких двигателей в зависимости от ее численности.

Форма отчета

Двигатель	М-412 (Москвич)	ВАЗ-2101 (Жигули)	МеМЗ-966 (Запоро- жец)	УМЗ-341
	432 (Рысь)	ВАЗ-311 (роторн.)	ЗМЗ М20 (Победа)	ЗМЗ М21 (Волга)
	Honda	АИ14 (авиац.)	Д50 (дизель)	Д21 (дизель)
1	2	3	4	5
Тип привода ГРМ				
Расположение рас- пределительного вала				
Расположение клапа- нов				
Привод клапанного механизма				
Способ осевой фикса- ции распределитель- ного вала				
Способ смазки под- шипников распреде- лительного вала				
Порядок расположе- ния кулачков на рас- пределительном вале				
Профиль кулачков				
Способ смазки кулач- ков				
Способ крепления клапанной пружины				
Имеется ли механизм поворота клапанов				
Диаметр впускного клапана				
Тепловой зазор впускного клапана				

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5
Фазы открытия впускного клапан по углу ПКВ				
Диаметр выпускного клапана				
Тепловой зазор выпускного клапана				
Фазы открытия выпускного клапан по углу ПКВ				
Имеется ли декомпрессионный механизм				
Имеются ли гидравлические толкатели				
Количество пружин на клапан				

Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

3. Вопросы для контроля

1. Какое назначение имеет механизм газораспределения?
2. Перечислите типы механизмов газораспределения.
3. Из каких основных частей состоит механизм газораспределения?
4. Что называется фазами газораспределения?
5. Почему клапаны открываются с опережением и закрываются с запаздыванием?
6. Чем отличаются фазы газораспределения двухтактных двигателей от фаз четырехтактного?
7. Объясните схему действия клапанного механизма газораспределения.
8. Расскажите о преимуществах и недостатках расположения клапанов в блоке и в головке цилиндров.
9. Для чего назначается зазор между толкателем и кулачком?

10. Расскажите о назначении и устройстве клапана.
11. Чем отличается впускной клапан от выпускного?
12. Для чего нужна клапанная пружина и как она соединяется с клапаном?
13. Для чего ось толкателя иногда смещается относительно оси кулачка?
14. Как устроен распределительный вал?
15. Для чего делаются метки на распределительных шестернях или звездочках?
16. Какое число оборотов имеет распределительный вал по сравнению с коленчатым?
17. Как осуществляется поворот клапана вокруг своей оси и для чего это производится?
18. Для чего служит декомпрессионный механизм?
19. Как влияет на работу двигателя увеличение или уменьшение зазоров в клапанном механизме?
20. Почему диаметр опорных шеек распредвала, вращающегося в подшипниках скольжения, неодинаков?
21. Какой тип механизма газораспределения обеспечивает лучшее наполнение цилиндров?
22. Как изменяется зазор в клапанном механизме двигателя водяного охлаждения с увеличением степени его прогрева?
23. Какова тенденция места расположения распредвала в быстроходных ДВС?
24. Назовите назначение гидравлических толкателей ГРМ и их преимущества по сравнению с обычными толкателями.
25. Почему в большинстве автотракторных двигателей устанавливают по две пружины на каждый клапан?
26. Если на клапане установлены две пружины, то почему навивки пружин делают в разные стороны?
27. Для чего на клапанах устанавливают резиновые колпачки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. РАЗБОРКА И СБОРКА ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

1. Цель работы

Целью работы является получения студентами навыков разборки и сборки двухтактного двигателя внутреннего сгорания.

2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы следует изучить общие организационные и технологические принципы сборки и разборки поршневых ДВС, разобрать и собрать двухтактный двигатель, составить схему его сборки и разборки.

В работе следует использовать инструменты, приспособления, плакаты, чертежи двигателей и демонстрационные материалы, находящиеся в кабинете конструкций ДВС (2-401).

В качестве отчета по лабораторной работе необходимо представить схему сборки и разборки двигателя.

Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

3. Разборка двигателя ЭМ-100

1. Закрывать кран подачи топлива. Отсоединить топливопроводы от карбюратора.

2. Отстегнуть два ремня крепления бака.

3. Отвернуть четыре винта крепления кронштейна привода дроссельной заслонки. Снять кронштейн.

4. Отвернуть два винта крепления кронштейна топливного бака. Снять бак.

5. Отвернуть болт хомута крепления шкива отбора мощности.

6. Отвернуть гайку центробежной муфты. Снять муфту. При наличии шпонки – снять шпонку.

7. Отвернуть четыре винта крепления стартера. Снять стартер.

8. Снять высоковольтный провод со свечи. «Свечным» ключом вывернуть свечу.

9. Отвернуть три винта крепления системы зажигания. Снять систему зажигания.

10. Отвернуть четыре винта крепления кожуха ремня синхронизации. Снять кожух.

11. Отвернуть гайку крепления шкива клиноременной передачи. Снять шайбу, снять шкив, снять центробежную муфту.
12. Аналогично п. 11 снять второй шкив.
13. Снять зубчатый ремень.
14. Отвернуть гайку крепления зубчатого колеса. Снять два зубчатых колеса съемником. Снять шпонки.
15. Отвернуть гайку крепления крыльчатки. Снять крыльчатку с помощью специального приспособления. Снять шпонку.
16. Отвернуть два болта крепления глушителя к выпускной трубе. Снять глушитель.
17. Отвернуть два винта крепления выпускной трубы к цилиндру. Снять выпускную трубу.
18. Снять дефлектор цилиндра.
19. Снять крышку воздушного фильтра карбюратора.
20. Отвернуть два винта крепления карбюратора.
21. Повторить п. 18, 19, 20 для второго карбюратора.
22. Снять карбюраторы вместе с тягой.
23. Отвернуть по четыре винта крепления лепесткового клапана на каждом картере и снять клапан вместе с «домиком».
24. Отвернуть два винта и болт крепления натяжителя ремня.
25. Отвернуть винты крепления цилиндра к раме.
26. Отвернуть гайки (8 шт.) внутренним шестигранником на «5».
27. Снять передний и задний картеры с цилиндра.
28. На каждом картере отвернуть по четыре винта внутренним шестигранником на «5» и разъединить полукартеры.
29. Снять поршневые кольца.
30. Снять стопорные кольца поршневого пальца.
31. Оправкой выбить поршневые пальцы.
32. Снять поршень.
33. Извлечь игольчатый подшипник из верхней головки шатуна.

4. Сборка двигателя ЭМ-100

Сборка осуществляется в последовательности, обратной разборке. При запрессовке поршневого пальца, предварительно игольчатый подшипник установить в верхнюю головку шатуна, далее поршень нагреть, вставить втулку для центровки отверстия шатуна с отверстием под поршневой палец, запрессовать палец. При установке зубчатого ремня зубчатые колеса повернуть таким образом, чтобы метки на

колесах располагались горизонтально напротив друг на друга. Прокладки заменить и смазать герметиком.

5. Перечень инструментов и приспособлений

1. Отвертка шлицевая.
2. Ключ рожковый «8-10».
3. Ключ рожковый «13-17».
4. Ключ рожковый «12-14».
5. Головка с воротком на «12».
6. Шестигранник на «5».
7. Ключ «свечной».
8. Приспособление для снятия крыльчатки.
9. Съёмник для снятия зубчатых шкивов.
10. Пассатижи.
11. Молоток.
12. Втулка диаметром 9 мм для центровки оси верхней головки шатуна с осью отверстия под поршневой палец.
13. Оправка диаметром 5,5 мм.
14. Печь или плитка.

6. Вопросы для контроля

1. Приведите классификацию видов сборки.
2. Назовите организационные формы сборки.
3. Что представляется собой сборка с полной взаимозаменяемостью.
4. Что такое сборка с групповой взаимозаменяемостью, с пригонкой и сборка с регулированием.
5. Дайте понятие технологического процесса сборки, технологической операции, перехода.
6. Что такое дифференциация и концентрация процесса сборки.
7. Назовите виды работ, входящих в процесс сборки.
8. Перечислит этапы разработки технологического процесса сборки.
9. Каковы исходные данные для проектирования технологического процесса сборки.
10. Назовите принципы разбивки изделия на составные части.
11. Для чего проводят составление схемы сборки изделия.
12. Что входит в сборочную оснастку и инструмент.

13. Каким образом проводится техническое нормирование сборочных работ.
14. Как проводится расчет основных показателей процесса сборки.
15. Приведите общую схему сборки двигателя.
16. Приведите схему сборки шатунно-поршневой группы.
17. Что такое осевая и радиальная сборка. Чем они отличаются друг от друга.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. РАЗБОРКА И СБОРКА ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

1. Цель работы

Целью работы является получения студентами навыков разборки и сборки четырехтактного двигателя внутреннего сгорания.

2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы следует изучить общие организационные и технологические принципы сборки и разборки поршневых ДВС. По чертежам, образцам и макетам двигателей составить схему сборки и разборки какой-либо модели двигателя, составить перечень необходимых инструментов и приспособлений. Разобрать и собрать четырехтактный двигатель в соответствии со схемой его сборки и разборки.

В работе следует использовать инструменты, приспособления, плакаты, чертежи двигателей и демонстрационные материалы, находящиеся в кабинете конструкций ДВС (2-401).

В качестве отчета по лабораторной работе необходимо представить схему сборки и разборки двигателя и перечень необходимых инструментов и приспособлений.

Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

3. Вопросы для контроля

1. Назовите классификацию видов сборки.
2. Перечислите организационные формы сборки.
3. Что такое сборка с полной взаимозаменяемостью.
4. Чем отличаются сборка с групповой взаимозаменяемостью, с пригонкой и сборка с регулированием.
5. Дайте понятие технологического процесса сборки, технологической операции, перехода.
6. В чем заключается дифференциация и концентрация процесса сборки.
7. Перечислите виды работ, входящих в процесс сборки.
8. Назовите этапы разработки технологического процесса сборки.
9. Каковы исходные данные для проектирования технологического процесса сборки.

10. Назовите принципы разбивки изделия на составные части.
11. Для чего производится составление схемы сборки изделия.
12. Что представляет собой сборочная оснастка и инструмент.
13. Каким образом проводится техническое нормирование сборочных работ.
14. Как проводится расчет основных показателей процесса сборки.
15. Назовите общую схему сборки двигателя.
16. Назовите схему сборки шатунно-поршневой группы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ЦПГ И КШМ

1. Цель работы

Целью работы является ознакомление с методикой поверочных расчетов деталей поршневого комплекта и шатунной группы.

2. Теоретические основы

2.1. Расчет поршня

Наиболее напряженным элементом поршневой группы является поршень (рис. 6.1), воспринимающий высокие газовые, инерционные и тепловые нагрузки.

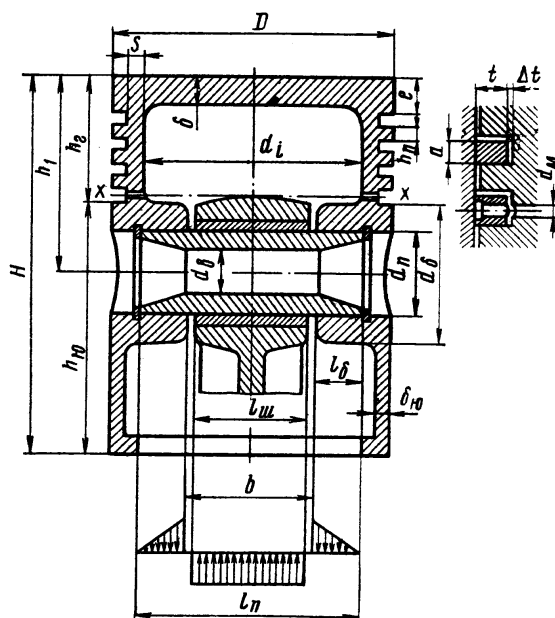


Рис. 6.1. Схема поршня

Днище поршня рассчитывают на изгиб от действия максимальных газовых усилий $P_{z\max}$ как равномерно нагруженная круглая плита, свободно опирающаяся на цилиндр.

Напряжение изгиба в днище поршня при поверочном расчете можно определить по следующей формуле, МПа:

$$\sigma_{uz} = K \frac{M_{uz}}{W_{uz}} = K \cdot P_{z\max} \left(\frac{r_i}{\delta} \right)^2, \quad (6.1)$$

где M_{uz} – изгибающий момент, МН·м:

$$M_{uz} = \frac{1}{3} P_{z\max} r_i^3; \quad (6.2)$$

$W_{из}$ – момент сопротивления изгибу плоского днища, м³:

$$W_{из} = \frac{1}{3} r_i \delta^2 ; \quad (6.3)$$

P_{zmax} – максимальное давление сгорания, МПа; r_i – внутренний радиус днища, м:

$$r_i = [D/2 - (s + t + \Delta t)]; \quad (6.4)$$

δ – толщина днища поршня, м; K – коэффициент наличия ребер жесткости (если ребра жесткости на днище поршня отсутствуют, то $K = 1$, если они имеются, то $K = 0,5$). Полученные при поверочном расчете напряжения изгиба $\sigma_{из}$ сравнивают с допускаемыми напряжениями материала $[\sigma_{из}]$, приведенными в табл. 6.1.

Кроме напряжений от давления газов в днище поршня возникают тепловые напряжения из-за разности температур внутренней и наружной поверхностей. Тепловые напряжения, МПа, охлаждаемых поршней составляет

$$\sigma_{мен} = \frac{\alpha E q \delta}{200 \lambda_{мен}}, \quad (6.5)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала поршня, 1/К; E – модуль упругости материала, МПа; $\lambda_{мен}$ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К). В формуле (6.5) q – удельная тепловая нагрузка, Вт/м², определяемая по эмпирической формуле

$$q = K_\tau \cdot 11,63 \cdot (6000 + 26n) \cdot P_i, \quad (6.6)$$

где n – частота вращения вала, об/мин (для бензиновых двигателей в формулу (6.6) подставляется частота вращения вала при максимальном крутящем моменте, для дизелей – при максимальной мощности по внешней скоростной характеристике; P_i – среднее индикаторное давление, МПа, при той же частоте вращения; K_τ – коэффициент, учитывающий напряженность двухтактного цикла ($K_\tau = 1$ – для четырехтактного двигателя, $K_\tau = 1,5$ – для двухтактного).

Суммарное напряжение (МПа) в днище поршня

$$\sigma_\Sigma = \sigma_{из} + \sigma_{мен}. \quad (6.7)$$

Полученные по формуле (6.7) напряжения сравнивают с допускаемыми напряжениями, приведенными в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Данные для проверочного расчета днища поршня

Материал	$[\sigma_{из}],$ МПа	$[\sigma_{\Sigma}],$ МПа	$\alpha,$ 1/К	$E,$ МПа	$\lambda_{теп},$ Вт/(м·К)
Чугун	40	150	$11 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^5$	58
Алюминиевый сплав	20	75	$22 \cdot 10^{-6}$	$0,6 \cdot 10^5$	160

Головка поршня в сечении $x-x$ (рис. 6.1), ослабленная отверстиями для отвода масла, проверяется на сжатие и разрыв.

Напряжение сжатия, МПа

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{z \max} F_n}{F_{x-x}}, \quad (6.8)$$

где $P_{z \max}$ – максимальное давление сгорания, МПа; F_n – площадь поршня, м²; F_{x-x} – площадь сечения $x-x$, м², определяемой по формуле

$$F_{x-x} = \frac{\pi}{4} (d_k^2 - d_i^2) - n_k F_k, \quad (6.9)$$

в которой $d_k = D - 2(t + \Delta t)$ – диаметр поршня по дну канавок, м²; d_i – внутренний диаметр поршня, м; n_k – количество масляных отверстий в сечении $x-x$ поршня; $F_k = [(d_k - d_i) / 2] \cdot d_m$ – площадь продольного диаметрального сечения масляного канала, м²; d_m – диаметр масляного канала, м.

Полученные напряжения на сжатие сравнивают с допустимыми напряжениями $[\sigma_{сж}]$, приведенными в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Данные для проверочного расчета головки и юбки поршня

Материал	$[\sigma_{сж}],$ МПа	$[\sigma_p],$ МПа	$[\sigma_{\Sigma}],$ МПа	$[q_1],$ МПа	$[q_2],$ МПа
Чугун	60	8	60	0,3	0,2
Алюминиевый сплав	30	4	30	0,3	0,2

Напряжение разрыва, МПа, в сечении $x-x$ определяется по следующей схеме:

$$\sigma_p = \frac{P_j}{F_{x-x}}, \quad (6.10)$$

где P_j – сила инерции возвратно-поступательно движущихся масс, МН, определяется для режима максимальной частоты вращения при холостом ходе двигателя:

$$P_j = m_{x-x} R \omega_{\max}^2 (1 + \lambda), \quad (6.11)$$

где m_{x-x} – масса головки поршня с кольцами, расположенная выше сечения $x-x$ (рис. 6.1), определяемая по геометрическим размерам, кг. Для поверочных расчетов массу m_{x-x} можно принять равной приближенно $m_{x-x} \approx (0,4 \div 0,6) m_n$, кг; m_n – масса поршневой группы, кг; R – радиус кривошипа, м; ω_{\max} – максимальная угловая скорость холостого хода двигателя, рад/с, определяемая по формуле:

$$\omega_{\max} = \frac{\pi n_{\max}}{30}, \quad (6.12)$$

где n_{\max} – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя холостого хода двигателя, об/мин; λ – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна КШМ:

$$\lambda = \frac{R}{L_{ш}}, \quad (6.13)$$

где $L_{ш}$ – длина шатуна, м.

Полученные напряжения на разрыв сравнивают с допустимыми напряжениями $[\sigma_p]$, приведенными в таблице 6.2.

Толщина верхней кольцевой перемычки h_n (см. рис. 6.1) форсированных двигателей с высокой степенью сжатия рассчитывают на срез и изгиб от действия максимальных газовых усилий $P_{z\max}$. Перемычка рассчитывается как кольцевая пластина, защемленная по окружности основания канавки диаметром d_k , м, и равномерно нагруженная по площади F_{kn} , м², силой P_k , МН, определяемым по формулам:

$$d_k = D - 2(t + \Delta t), \quad (6.14)$$

$$F_{kn} = \frac{\pi(D^2 - d_k^2)}{4}, \quad (6.15)$$

$$P_k = 0,9P_{z \max} F_{kn} . \quad (6.16)$$

Напряжение среза кольцевой перемычки, МПа

$$\tau = 0,0314 \frac{P_{z \max} D}{h_n} , \quad (6.17)$$

где D и h_n – диаметр цилиндра и толщина верхней кольцевой перемычки, мм.

Напряжение изгиба кольцевой перемычки, МПа

$$\sigma_{из} = 0,0045P_{z \max} \left(\frac{D}{h_n} \right)^2 . \quad (6.18)$$

Сложное напряжение по третьей теории прочности определится по следующей формуле

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{из}^2 + 4\tau^2} . \quad (6.19)$$

Полученное сложное напряжение в верхней кольцевой перемычке с учетом значительных температурных нагрузок сравнивают с допустимыми напряжениями $[\sigma_{\Sigma}]$, приведенными в табл. 6.2.

Максимальные удельные давления юбки поршня $h_{ю}$, МПа, и всей высоты поршня H на стенку цилиндра определяются соответственно из уравнений:

$$q_1 = \frac{N_{\max}}{h_{ю} D} , \quad (6.20)$$

$$q_2 = \frac{N_{\max}}{HD} , \quad (6.21)$$

где N_{\max} – наибольшая нормальная сила, действующая на стенку цилиндра при работе двигателя на режиме максимальной мощности и определяемая по данным динамического расчета. Полученные значения сравниваются с допустимыми значениями напряжений $[q]$, приведенными в табл. 6.2.

2.2. Расчет поршневого кольца

Расчет колец заключается:

– в определении среднего давления кольца на стенку цилиндра, которое должно обеспечивать достаточную герметичность камеры сгорания и не должно резко увеличивать потери двигателя на трение колец о стенки цилиндра;

– в построении эпюры давления кольца на стенку цилиндра по окружности;

– в определении напряжения изгиба, возникающих в сечении, противоположном замку, при надевании кольца на поршень и в рабочем состоянии.

Среднее давление кольца на стенку цилиндра, МПа

$$P_{cp} = 0,152E \frac{A_o / t}{(D/t - 1)^3 (D/t)}, \quad (6.22)$$

где E – модуль упругости материала, МПа; D – диаметр поршня, м; t – радиальная толщина кольца, м; A_o – разность между величинами зазоров замка кольца в свободном и рабочем состояниях, м.

Т а б л и ц а 6 . 3

Данные для проверочного расчета поршневого кольца

Материал	E , МПа	$[\sigma_{из}]$, МПа
Серый чугун	$1 \cdot 10^5$	350
Легированный чугун	$1,2 \cdot 10^5$	350
Сталь	$2,2 \cdot 10^5$	350

Среднее радиальное давление P_{cp} должно составлять:

- для компрессионных колец – $0,11 \div 0,37$;
- для маслоъемных колец – $0,2 \div 0,4$.

При снижении частоты вращения двигателя и увеличении диаметра цилиндра величина P_{cp} должна иметь значение ближе к нижнему пределу. Для обеспечения хорошей приработки кольца и надежного уплотнения давление P кольца на стенку цилиндра в различных точках окружности должно изменяться по эпюре (рис. 6.2), построенной по следующим данным, рекомендованным ГОСТом:

Т а б л и ц а 6 . 4

Параметры для построения эпюры

Угол ψ , град.	0	30	60	90	120	150	180
Отношение P/P_{cp}	1,05	1,05	1,14	0,90	0,45	0,67	2,85

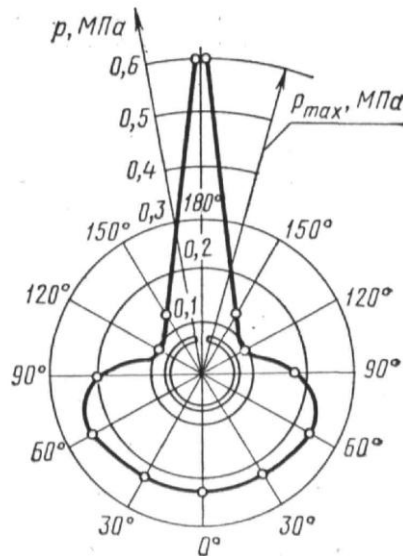


Рис. 6.2. Эпюра давлений компрессионного кольца

Значительное повышение давление у замка способствует равномерному износу кольца по окружности.

Напряжения изгиба кольца в рабочем состоянии, МПа

$$\sigma_{изг} = 2,61P_{cp} (D/t - 1)^2 ; \quad (6.23)$$

при надевании его на поршень

$$\sigma_{изг} = \frac{4E(1 - 0,114A_o / t)}{m(D/t - 1,4)(D/t)} , \quad (6.24)$$

где m – коэффициент, зависящий от способа надевания кольца (при расчете можно принять $m = 1,57$). Допустимые напряжения при изгибе кольца приведены в табл. 6.3.

2.3. Расчет поршневого пальца

Во время работы двигателя поршневой палец подвергается воздействию переменных нагрузок, приводящих к возникновению напряжений изгиба, сдвига, смятия и овализации.

Расчет поршневого пальца включает определение удельных давлений пальца на втулку верхней головки шатуна и на бобышки, а также напряжений от изгиба, среза и овализации.

Максимальные напряжения в пальце возникают при работе на режиме максимального крутящего момента для двигателей со впрыском легкого топлива, а в пальцах дизелей – при работе на номинальном режиме.

Расчетная сила, действующая на поршневой палец, МН

$$P = P_{z \max} F_n + kP_j, \quad (6.25)$$

где $P_{z \max}$ – максимальное давление газов, МПа, на режиме максимального крутящего момента для бензиновых двигателей или на номинальном режиме для дизелей; k – коэффициент, учитывающий массу поршневого пальца (см. табл. 6.5); P_j – сила инерции поршневой группы, определяемой по формуле, МН

$$P_j = -m_n \omega R(1 + \lambda) \cdot 10^{-6}, \quad (6.26)$$

где ω – угловая скорость коленчатого вала двигателя, 1/с; R – радиус кривошипа коленчатого вала двигателя, м; $\lambda = R/L$ – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна; m_n – масса поршневого комплекта, кг.

Удельное давление пальца на втулку поршневой головки шатуна, МПа

$$q_{ш} = \frac{P}{d_n l_{ш}}, \quad (6.27)$$

где d_n – наружный диаметр пальца, м; $l_{ш}$ – длина опорной поверхности пальца в головке шатуна, м.

Удельное давление плавающего пальца на бобышки, МПа

$$q_b = \frac{P}{d_n (l_n - b)}, \quad (6.28)$$

где l_n – общая длина пальца, м; b – расстояние между торцами бобышек, м; $(l_n - b)$ – длина опорной поверхности пальца в бобышках, м.

Допустимые напряжения для удельных давлений приведены в табл. 6.5.

Т а б л и ц а 6 . 5

Данные для проверочного расчета поршневого пальца

Двигатель	k	$[q_{ш}]$, МПа	$[q_b]$, МПа	$[\sigma_{уз}]$, МПа	$[\tau]$, МПа	$[\sigma_i]$, МПа
Бензиновый	0,81	60	50	250	200	300
Дизель	0,75	20	15	100	60	300

Напряжение изгиба пальца, МПа, при условии распределения нагрузки по длине пальца согласно эпюре, приведенной на рис. 6.3:

$$\sigma_{уз} = \frac{P(l_n + 2b - 1,5l_{ш})}{1,2(1 - \alpha^4)d_n^3}, \quad (6.29)$$

где $\alpha = d_e / d_n$ – отношение внутреннего диаметра пальца к наружному. Допустимые напряжения $[\sigma_{uz}]$ приведены в табл. 6.5.

Касательные напряжения, МПа, от среза пальца в сечениях, расположенных между бобышками и головкой шатуна:

$$\tau = \frac{0,85P(1 + \alpha + \alpha^2)}{(1 - \alpha^4)d_n^2}. \quad (6.30)$$

Допускаемые напряжения $[\tau]$ приведены в табл. 6.5.

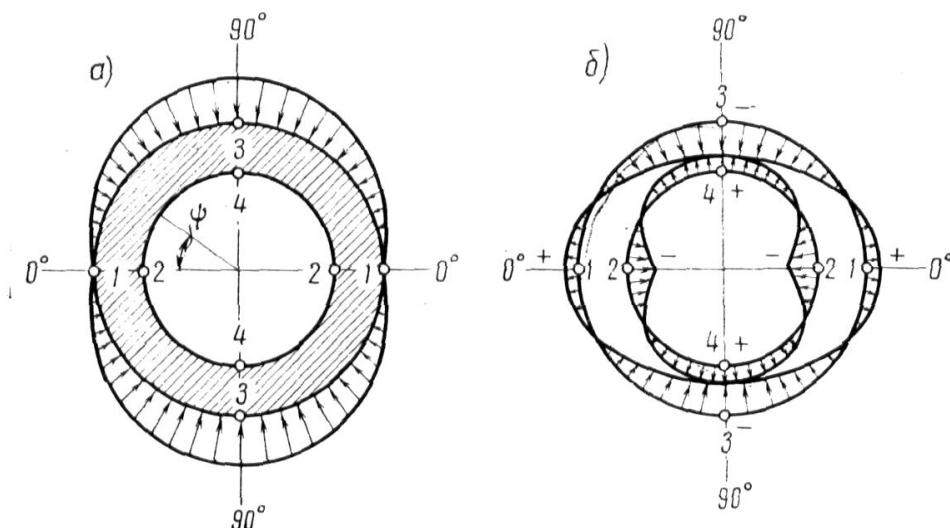


Рис. 6.3. Расчетная схема поршневого пальца: а – распределение нагрузки; б – эпюры напряжений

Напряжения, МПа, возникающие при овализации пальца на внешней и внутренней поверхностях (рис. 6.3, б), определяют для горизонтальной (точки 1 и 2 при $\psi = 0^\circ$) и вертикальной (точки 3 и 4 при $\psi = 90^\circ$) плоскостей по следующим формулам:

на внешней поверхности пальца в горизонтальной плоскости (точки 1, $\psi = 0^\circ$)

$$\sigma_{\alpha 0^\circ} = \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,19 \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} - \frac{1}{1 - \alpha} \right] [0,1 - (1 - 0,4)^3]; \quad (6.31)$$

на внешней поверхности пальца в вертикальной плоскости (точки 3, $\psi = 90^\circ$)

$$\sigma_{\alpha 90^\circ} = \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,174 \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} + \frac{0,636}{1 - \alpha} \right] [0,1 - (1 - 0,4)^3]; \quad (6.32)$$

на внутренней поверхности пальца в горизонтальной плоскости (точки 2, $\psi = 0^\circ$)

$$\sigma_{i0^\circ} = \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,19 \frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \alpha} + \frac{1}{1-\alpha} \right] [0,1 - (1-0,4)^3]; \quad (6.33)$$

на внутренней поверхности пальца в вертикальной плоскости (точки 4, $\psi = 90^\circ$)

$$\sigma_{i90^\circ} = \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,174 \frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \alpha} - \frac{0,636}{1-\alpha} \right] [0,1 - (1-0,4)^3]. \quad (6.34)$$

Наибольшее напряжение овализации возникает на внутренней поверхности пальца в горизонтальной плоскости. Это напряжение, подсчитанное по формуле (6.33), не должно превышать допустимое напряжение, приведенное в табл. 6.5.

3. Необходимое оборудование

Для выполнения данной работы необходим поршневой комплект двигателя в сборе, линейка, штангенциркуль, весы.

4. Порядок выполнения работы

1. Замеряются все необходимые размеры поршневого комплекта, необходимые для расчета.
2. Составляются эскизы поршня, кольца и пальца.
3. Взвешивается поршневой комплект в сборе и определяется масса m_n .
4. Максимальное давление $P_{z\max}$, частота вращения коленчатого вала двигателя и материалы деталей уточняются в индивидуальном порядке с преподавателем.
5. Производится расчет поршня по формулам (6.1–6.21), полученные значения напряжений сравниваются с допускаемыми (см. табл. 6.3).
6. Расчет кольца выполняют по формулам (6.22–6.24).
7. По формуле (6.22) определяется среднее удельное давление кольца на стенку цилиндра.
8. Строится эпюра давления кольца в соответствии с табл. 6.4.
9. По формулам (6.25–6.34) выполняется расчет поршневого пальца.

5. Анализ результатов

Все расчеты выполняется в виде отчета, в анализе результатов которого указывается:

1. Удовлетворяет ли данная деталь условиям прочности?

2. Какая из деталей поршневой группы данного двигателя является наименее надежной?

3. Что нужно сделать, чтобы улучшить прочностные свойства поршневой группы?

Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

6. Вопросы для контроля

1. Какие нагрузки действуют на поршень?

2. Какие элементы поршня подвергаются расчету и какие напряжения испытывает материал в расчетных сечениях?

3. Какие нагрузки испытывает поршневое кольцо?

4. Какие элементы поршневого кольца подвергаются расчету и какие напряжения испытывает материал в расчетных сечениях?

5. Почему компрессионное кольцо имеет неравномерную эпюру давления по образующей на цилиндр?

6. Какие нагрузки испытывает поршневой палец?

7. Какие элементы поршневого пальца подвергаются расчету и какие напряжения испытывает материал в расчетных сечениях?

РАЗДЕЛ 2. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТНОЙ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. РАСЧЕТ ДВИГАТЕЛЯ В СИМ «АЛЬБЕЯ» И ПОЛУЧЕНИЕ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ДЕТАЛИ КШМ

1. Цель работы

Целью работы является изучение характера изменений действующих на КШМ сил в процессе работы двигателя и определение максимальных усилий на детали для прочностного расчета.

2. Необходимое оборудование

Для выполнения данной работы необходимо следующее оборудование:

1. Персональный компьютер Pentium III-IV с установленной операционной системой Windows 2000/XP.
2. Программный продукт «Система имитационного моделирования «Альбея» версии 4.00.

3. Порядок выполнения работы

1. Соберите расчетную схему проектируемого двигателя на экране сборки СИМ «Альбея» [5]. Сначала в соответствии с расчетной схемой двигателя на экране расставьте модули-элементы ГВТ, а затем проведите модули-связи.

2. Добавьте в проект модули, рассчитывающие кинематику и динамику КШМ, а также механические потери. Основными модулями расчета кинематики и динамики являются модули ПОРШЕНЬ и КШМ.

3. Задайте начальные исходные данные для расчета [6, 7]. Исходные данные необходимо задавать как в модулях-элементах, так и в модулях-связях. Проведите тестовую проверку введенных данных. Если имеются ошибки, то исправьте их.

4. Введите в графики и таблицы из проекта переменные, которые необходимо анализировать и сформируйте экраны СИМ «Альбея» для получения требуемых результатов (графики на экранах и таблицы данных в файлах).

5. Запустите собранный проект на расчет. В самом начале расчета могут возникнуть ошибки сборки или задания исходных данных.

Отладьте проект так, чтобы он устойчиво работал.

6. Осуществите моделирование рабочего процесса на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Моделирование проводите до тех пор, пока интегральные показатели двигателя от цикла к циклу будут изменять не более, чем на 10 %.

7. По полученным графикам и таблицам определите максимальные усилия, действующие на детали КШМ проектируемого двигателя, а также углы ПКВ, на которых эти усилия возникли.

8. Сохраните проект с целью его дальнейшего использования.

9. Лабораторную работу оформите в виде отчета, в котором приведите расчетную блок-схему двигателя, а результаты расчета представьте в виде нижеследующей таблицы.

Т а б л и ц а 1 . 1

Форма отчета

Параметр	Расчет в СИМ «Альбея»	Расчет, проведенный по методике [2]
1	2	3
Эффективная мощность, кВт		
Среднее эффективное давление, МПа		
Эффективное КПД двигателя		
Удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт·ч)		
Индикаторная мощность, кВт		
Среднее индикаторное давление, МПа		
Индикаторное КПД двигателя		
Удельный индикаторный расход топлива, кг/(кВт·ч)		
Коэффициент механических потерь		
Коэффициент наполнения		
Коэффициент остаточных газов		
Максимальное давление цикла, МПа		

1	2	3
Максимальная сила, действующая на поршневой палец, Н		
Максимальная боковая сила, действующая со стороны поршня на цилиндр, Н		
Максимальная сила, действующая вдоль шатуна, Н		
Максимальная сила, действующая вдоль кривошипа, Н		
Максимальная сила, действующая по касательной к кривошипу, Н		
Максимальный крутящий момент, Н·м		

В случае больших расхождений параметров (более 10 %) объяснить причину такого расхождения.

Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

4. Вопросы для контроля

1. От каких факторов зависит сила, действующая на поршневой палец? При каких углах ПКВ она является максимальной?

2. Как определяется сила, действующая на шатун? При каком угле ПКВ она является максимальной?

3. От чего возникает боковая сила на поршень (или на стенку цилиндра)? Какому углу ПКВ соответствует ее максимальная величина?

4. Как образуется крутящий момент на коленчатом валу? Покажите график изменения крутящего момента для вашего двигателя.

5. Как противовесы коленчатого вала, расположенные на продолжении щек, влияют на усилия, действующие в КШМ?

6. На что влияет момент инерции маховика?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. РАСЧЕТ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЦПГ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Цель работы

Целью работы является изучение напряжений, возникающих в материале деталей ЦПГ, и проведение анализа по изменению конструкции деталей для обеспечения их работоспособности.

2. Необходимое оборудование

Для выполнения данной работы необходимо следующее оборудование:

1. Персональный компьютер Pentium III-IV с установленной операционной системой Windows 2000/XP.
2. Программный продукт SolidWorks 2005 или более поздней версии.
3. Программный продукт COSMOSWorks 2005 или более поздней версии.

3. Порядок выполнения работы

1. Создайте трехмерные твердотельные модели рассчитываемых деталей (поршня и поршневого кольца) в SolidWorks [8, 9]. Задайте материал деталей.

2. В программе COSMOSWorks назначьте нагрузки на рассчитываемые детали, полученные из динамического расчета (см. лабораторную работу № 1 из Раздела 2), а также требуемые ограничения.

2.1. Задайте следующие нагрузки для поршня:

- давление газов P_2 на днище поршня с учетом давления в кривошипной камере (распределенная нагрузка);
- температурное воздействие на днище поршня (тепловая нагрузка);
- боковое усилие N на поршень со стороны цилиндра;
- силу на поршневую перемычку со стороны поршневого кольца;
- максимальную инерционную силу P_j , действующую на поршень;
- силу на бобышки поршня со стороны поршневого пальца задайте с помощью ограничения (фиксации).

2.2. Задайте следующие нагрузки для поршневого кольца:

- реакцию сил упругости поршневого кольца на стенку цилиндра;
- давление поршневых газов P_2 на верхнюю кромку кольца;
- усилие при одевании кольца на поршень;
- максимальную инерционную силу P_j , действующую на поршневое кольцо;
- ограничение (фиксация) кольца в сечении напротив замка.

3. Проведите расчет на прочность поршня и поршневого кольца. Расчет поршневого кольца проведите для двух случаев: 1) в процессе работы кольца; 2) при надевании кольца на поршень.

4. Проанализируйте полученные данные:

- определите максимальные напряжения, действующие в материале расчетных деталей;
- сравните с допускаемыми напряжениями;
- определите запас прочности;
- сделайте заключение о работоспособности деталей.

5. Лабораторную работу оформите в виде отчета, в котором приведите деформированное состояние расчетных деталей, а результаты расчета представьте в виде нижеследующей таблицы.

Т а б л и ц а 2 . 1

Форма отчета

Расчетное сечение	Расчет в COSMOSWorks	Расчет, проведенный по методике [2]
1	2	3
Напряжение изгиба в днище поршня, МПа		
Напряжение в поршневой кольцевой перемычке, МПа		
Напряжение в сечении поршня, ослабленном каналами для отвода масла, МПа		
Напряжения в юбке поршня, МПа		

Продолжение табл. 2.1

1	2	3
Напряжение в сечении поршневого кольца, напротив его замка в рабочем состоянии, МПа		
Напряжение в сечении поршневого кольца, напротив его замка при надевании на поршень, МПа		

В случае больших расхождений напряжений (более 10 %) объяснить причину такого расхождения.

Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

4. Вопросы для контроля

1. Как распределяется напряжение по материалу детали (поршня и поршневого кольца)?
2. В каком месте детали материал испытывает наибольшие напряжения?
3. Как влияют концентраторы напряжений в детали на величину действующих напряжений?
4. Каковы наибольшие деформации в расчетных деталях?
5. Укажите на деталях точки с наибольшей деформацией.
6. Предложите способы изменения конструкции с целью повышения запаса прочности, если он низок, или понижения запаса прочности – если деталь переразмерена.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. РАСЧЕТ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ КШМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Цель работы

Целью работы является изучение напряжений, возникающих в материале деталей КШМ, и проведение анализа по изменению конструкции деталей для обеспечения их работоспособности.

2. Необходимое оборудование

Для выполнения данной работы необходимо следующее оборудование:

1. Персональный компьютер Pentium III-IV с установленной операционной системой Windows 2000/XP.
2. Программный продукт SolidWorks 2005 или более поздней версии.
3. Программный продукт COSMOSWorks 2005 или более поздней версии.

3. Порядок выполнения работы

1. Создайте трехмерные твердотельные модели рассчитываемых деталей (поршневого пальца и шатуна) в SolidWorks [8, 9]. Задайте материал деталей.

2. В программе COSMOSWorks назначьте нагрузки на рассчитываемые детали, полученные из динамического расчета (см. лабораторную работу № 1 из Раздела 2), а также требуемые ограничения.

2.1. Задайте следующие нагрузки для поршневого пальца:

- нагрузку от поршневой головки шатуна (распределенная нагрузка);
- максимальную инерционную силу, действующую на поршневой палец;
- силу на поршневой палец со стороны бобышек поршня задайте с помощью ограничения (фиксации).

2.2. Задайте следующие нагрузки для шатуна:

- силу со стороны поршневого пальца (сила S динамического расчета) на верхнюю поршневую головку шатуна;
- максимальную инерционную силу, действующую на шатун;
- силу стороны шатунной шейки коленчатого вала задайте с

помощью ограничения (фиксации).

3. Проведите усталостный расчет на прочность поршневого пальца и шатуна.

4. Проанализируйте полученные данные:

- определите максимальные напряжения, действующие в материале расчетных деталей;
- сравните с допускаемыми напряжениями;
- определите запас прочности;
- сделайте заключение о работоспособности деталей.

5. Лабораторную работу оформите в виде отчета, в котором приведите деформированное состояние расчетных деталей, а результаты расчета представьте в виде нижеследующей таблицы.

Т а б л и ц а 3 . 1

Форма отчета

Расчетное сечение	Расчет в COSMOSWorks	Расчет, проведенный по методике [2]
Напряжение изгиба пальца в среднем сечении, МПа		
Напряжение в сечении пальца между бобышкой поршня и поршневой головки шатуна, МПа		
Напряжение на наружной поверхности поршневого пальца, МПа		
Напряжение на внутренней поверхности пальца, МПа		
Напряжение в поршневой головке шатуна, МПа		
Напряжение в стержне шатуна, МПа		
Напряжение изгиба в крышке кривошипной головки шатуна, МПа		

В случае больших расхождений напряжений (более 10 %) объяснить причину такого расхождения.

Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

4. Вопросы для контроля

1. Как распределяется напряжение по материалу детали (поршневого пальца и шатуна)?

2. В каком месте детали материал испытывает наибольшие напряжения?

3. Как влияют концентраторы напряжений в детали на величину действующих напряжений?

4. Каковы наибольшие деформации в расчетных деталях?

5. Укажите на деталях точки с наибольшей деформацией.

6. Предложите способы изменения конструкции с целью повышения запаса прочности, если он низок, или понижения запаса прочности – если деталь переразмерена.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. РАСЧЕТ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Цель работы

Целью работы является изучение напряжений, возникающих в материале коленчатого вала и гильзы цилиндра, и проведение анализа по изменению конструкции деталей для обеспечения их работоспособности.

2. Необходимое оборудование

Для выполнения данной работы необходимо следующее оборудование:

1. Персональный компьютер Pentium III-IV с установленной операционной системой Windows 2000/XP.
2. Программный продукт SolidWorks 2005 или более поздней версии.
3. Программный продукт COSMOSWorks 2005 или более поздней версии.

3. Порядок выполнения работы

1. Создайте трехмерные твердотельные модели рассчитываемых деталей (коленчатого вала и гильзы цилиндра) в SolidWorks [8, 9]. Задайте материал деталей.

2. В программе COSMOSWorks назначьте нагрузки на рассчитываемые детали, полученные из динамического расчета (см. лабораторную работу № 1 из Раздела 2), а также требуемые ограничения.

2.1. Задайте следующие нагрузки для коленчатого вала:

- нагрузку от кривошипной головки шатуна каждого цилиндра на шатунные шейки коленчатого вала (распределенная нагрузка);
- максимальную инерционную силу от противовесов, действующую на щеки коленчатого вала;
- суммарный крутящий момент на носке коленчатого вала задайте с помощью ограничения (фиксации);
- реакции на опорах вращения задайте с помощью ограничений.

2.2. Задайте следующие нагрузки для гильзы цилиндра:

- давление газов P_2 на гильзу цилиндра вблизи верхней мертвой точки;
- тепловую нагрузку от отработанных газов;
- силу со стороны поршня (сила N динамического расчета) на боковую поверхность гильзы цилиндра.

3. Проведите расчет на прочность коленчатого вала и гильзы цилиндра.

4. Проанализируйте полученные данные:

- определите максимальные напряжения, действующие в материале расчетных деталей;
- сравните с допускаемыми напряжениями;
- определите запас прочности;
- сделайте заключение о работоспособности деталей.

5. Лабораторную работу оформите в виде отчета, в котором приведите деформированное состояние расчетных деталей, а результаты расчета представьте в виде нижеследующей таблицы.

Т а б л и ц а 4 . 1

Форма отчета

Расчетное сечение	Расчет в COSMOSWorks	Расчет, проведенный по методике [2]
Напряжение в шатунных шейках коленчатого вала, МПа		
Напряжение в коренных шейках коленчатого вала, МПа		
Напряжение в щеке коленчатого вала, МПа		
Напряжения на внутренней стенке гильзы цилиндра, МПа		
Напряжения на наружной стенке гильзы цилиндра, МПа		

В случае больших расхождений напряжений (более 10 %) объяснить причину такого расхождения.

Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

4. Вопросы для контроля

1. Как распределяется напряжение по материалу детали (коленчатого вала и гильзы цилиндра)?

2. В каком месте детали материал испытывает наибольшие напряжения?

3. Как влияют концентраторы напряжений в детали на величину действующих напряжений?

4. Каковы наибольшие деформации в расчетных деталях?

5. Укажите на деталях точки с наибольшей деформацией.

6. Предложите способы изменения конструкции с целью повышения запаса прочности, если он низок, или понижения запаса прочности – если деталь переразмерена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Луканин, В.Н.** Двигатели внутреннего сгорания / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров. – В 3 книгах. Книга 2: Динамика и конструирование. – М.: Высшая школа, 2005. – 400 с.
2. **Колчин, А.И.** Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2003.
3. **Еникеев, Р.Д.** Двигатели внутреннего сгорания. Основные термины и русско-английские соответствия: учебное пособие / Р.Д. Еникеев, Б.П. Рудой. – М.: Машиностроение, 2004. – 384 с.
4. **Яманин, А.И.** Компьютерно - информационные технологии в двигателестроении. / А.И. Яманин [и др.]. Под ред. проф. А.И. Яманина. – М.: Машиностроение, 2005. – 480 с.
5. **Система** имитационного моделирования «Альбея» (ядро): руководство пользователя; руководство программиста: учеб. пособие / В.Г. Горбачев [и др.]. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 1995. – 112 с.
6. **Методические указания** по моделированию рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания в интерактивной системе имитационного моделирования «Альбея» / И.С. Губайдуллин [и др.]. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 1997. – 43 с.
7. **Загайко, С.А.** Моделирование механических потерь двигателей внутреннего сгорания в системе имитационного моделирования «Альбея» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 1996. – 74 с.
8. **Дударева, Н.Ю.** Самоучитель SolidWorks 2006: учеб. пособие / Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко. – СПб: БХВ-Петербург, 2006. – 336 с.
9. **Дударева, Н.Ю.** SolidWorks 2007 на примерах: учеб. пособие / Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко. – СПб: БХВ-Петербург, 2007. – 528 с.
10. Макеты и плакаты по конструкции ДВС (в ауд. 2-401).
11. Двигатели внутреннего сгорания. Комплект демонстрационных материалов. РНПО Росучприбор. Южно-Уральский государственный университет (в ауд. 2-401).

Составители: ДУДАРЕВА Наталья Юрьевна
ЕНИКЕЕВ Рустэм Далилович
ЗАГАЙКО Сергей Андреевич

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по дисциплине «Конструирование ДВС»

Подписано в печать 23.01.2007. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 3,4. Усл. кр.-отт. 3,4. Уч.-изд. л. 3,3.

Тираж 100 экз. Заказ № ____.

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет

Центр оперативной полиграфии УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12