

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

### при изучении дисциплины «Конструирование двигателей»

Самостоятельная работа студентов по изучению дисциплины «Конструирование двигателей» включает следующие виды работ:

- изучение материала, вынесенного на лекции;
- изучение материала, вынесенного на практические занятия;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельное изучение;
- изучение материала, вынесенного на лабораторные работы;
- самостоятельное оформление лабораторных работ и подготовка к защите их;
- подготовка и выполнение под руководством преподавателя курсовых проектов и индивидуальных работ;
- выполнение курсового проекта и подготовка к защите его;
- подготовка к экзаменам.

Студенты дневной формы обучения изучают дисциплину «Конструирование двигателей» в двух семестрах 7 и 8 на лекциях, практических и лабораторных занятиях, а также выполняют курсовой проект.

Одним из видов самостоятельной практической работы, на которой происходит углубление и закрепление теоретических знаний студентов в интересах их профессиональной подготовки, являются краткий опрос на лекции по пройденной теме, практические занятия, лабораторные работы и самостоятельная работа над темой курсового проекта.

Данные работы имеют цели:

- углубить и закрепить знание теоретического курса;
- приобрести навыки в анализе результата расчетов и составлении отчетов по ним;
- приобрести первичные навыки организации, планирования и проведения научных исследовательских работ.

Таким образом, самостоятельная работа предназначена не только для овладения каждой дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решить проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа предусматривает в изучении содержания следующих тем курса «Конструирование двигателей» по рекомендуемым учебным пособиям, учебникам и дополнительной литературе (перечень приводится в конце рекомендаций), подготовке к практическим занятиям, к рубежным контролям, защите курсового проекта и к экзамену.

## 7 семестр

**Темы 1, 2.** Задачи и цели дисциплины. Современное состояние, тенденции и задачи развития тепловых двигателей на примерах наиболее прогрессивных конструкций отечественных и зарубежных поршневых двигателей. Этапы проектирования тепловых двигателей: техническое задание; эскизный, технический и рабочий проекты.

Выбор основных параметров поршневых двигателей: тип двигателя; среднее эффективное давление; частота вращения и средняя скорость поршня; отношение хода поршня к диаметру цилиндра; отношение радиуса кривошипа к длине шатуна; число цилиндров; тактность, рабочий объем цилиндра, вид охлаждения; диаметр цилиндра. Выбор компоновочной схемы поршневого двигателя, преимущества и недостатки схем. Анализ достигнутого уровня.

**Цель и задачи тем** – освоение студентами порядок проектирования поршневых ДВС.

Для этого из учебного пособия [5] должны быть рассмотрены главы 1, 2.

На лекциях были изложены основные понятия, которыми оперируют в дальнейшем при проектировании поршневых двигателей.

Для лучшего освоения материала рекомендуется ознакомиться результатами расчета двигателя в учебном пособии [5].

Рекомендуется одновременно с изучением разделов курса с использованием ПЭВМ посмотреть в пособии [5] результаты расчетов.

В учебном пособии [5] даны подробные разъяснения, как правильно выполнить расчеты.

При самостоятельном изучении необходимо ответить на следующие вопросы.

1. По каким моделям организации работ осуществляют разработку и постановку на производство двигателей внутреннего сгорания?
2. Как выбираются дополнительные требования к проектируемому двигателю?
3. Какие мероприятия предусмотрены в общем случае при разработке и постановке двигателя на производство?
4. Какие разделы предусмотрены в ТЗ на ОКР?
5. Как выбираются показатели и параметры проектируемого двигателя?
6. На каком этапе проводятся необходимые расчеты двигателя?
7. Какие цели ставятся при разработке эскизного проекта?
8. Какие работы должны быть выполнены на этапе эскизного проекта?
9. Для чего составляется пояснительная записка к эскизному проекту?
10. Каким испытаниям подвергают опытную партию двигателей?
11. Что отражается в акте по результатам испытаний двигателей?
12. Когда принимается решение об окончании разработки двигателя?

**Темы 3,4.** Основные показатели поршневого двигателя: удельная мощность, литровая и поршневая мощность; удельная масса, литровая масса, эффективные показатели. Изменение показателей рабочего процесса поршневого двигателя по внешней скоростной характеристике. Выбор расчетных режимов поршневого двигателя – при номинальной (максимальной) мощности, при максимальном крутящем моменте, на режиме максимальной частоты вращения холостого хода. Расчетные режимы двухтактных двигателей.

**Цель изучения тем** – освоение студентами основных показателей поршневых двигателей.

На лекциях рассматривается материал главы 2 учебных пособий [1 или 2], с. 30-43. Для самостоятельного изучения рекомендуется пп. 1.1– 1.5; 2.5-2.7. В учебных пособиях [5 или 6] даны подробные разъяснения, как правильно выполнить расчеты.

При выборе расчетных данных (особенно при определении масс деталей совершающих возвратно-поступательное движение или вращательное) необходимо провести сравнение с данными двигателя-прототипа, которые можно найти в интернете.

Поскольку на лекциях преподаватель проводит перекрестный опрос, то для лучшего освоения материала рекомендуется ответить на вопросы, которые приводятся в конце каждого параграфа учебных пособий [4 или 5]. Если при изучении материала возникает какое-то затруднение, то рекомендуется взять учебники или учебные пособия, которые рекомендованы лектором.

**Темы 5.** Моделирование внешней скоростной и регуляторной характеристик поршневого двигателя на стадии проектирования.

**Цель** – научить студентов методам построения скоростной и регуляторной характеристик на стадии проектирования

Эти темы охватывают главы 2 и 3 учебного пособия [4]. Для самостоятельного изучения рекомендуется с. 33-79.

Рекомендуется ответить на следующие вопросы.

1. Что такое внешняя скоростная характеристика?
2. Как снимается при испытаниях частичная скоростная характеристика?
3. Что такое номинальная мощность двигателя?
4. Что является необходимым и достаточным условием подобия двух систем или процессов одинаковой физической природы?
5. Почему при моделировании необходимо переходить к обобщенным (безразмерным) координатам?
6. Где располагается начало обобщенных координат?
7. Какое допущение принимается при моделировании ВСХ двигателя на стадии проектирования?
8. Для чего проводится аппроксимация показателей ВСХ двигателя-прототипа в безразмерных координатах?
9. Какие величины двигателя-прототипа используются при моделировании ВСХ проектируемого двигателя

**Тема 6.** Влияние знакопеременного характера изменения сил и моментов на особенности расчета деталей тепловых двигателей.

**Цель и задачи темы** – самостоятельно научиться использовать методики расчета деталей ДВС при переменных напряжениях.

Эта тема достаточно полно рассмотрена в учебных пособиях [1, 2], глава 3, п.п. 3.1-3.3 предлагается для самостоятельного изучения.

Рекомендуется ознакомиться с результатами расчета для двигателя, который приведен в качестве примера в учебных пособиях [5 или 6] в главе 5 и приложениях.

Рекомендуется ответить на следующие вопросы.

1. Как влияет тип деформации на предел выносливости ?
2. Как влияет степень несимметрии цикла на предел выносливости?
3. Какие имеются диаграммы предельных напряжений и в каких координатах они строятся?
4. Как строится диаграмма предельных напряжений Хейга ?
5. В каких координатах строится диаграмма Смита?
6. Как строятся схематизированные диаграммы предельных циклов?
7. Как строится схематизированная диаграмма Серенсена-Кинасошвили?
8. Как строится схематизированная диаграмма Рабиновича?
9. В чем достоинства и недостатки схематизированных диаграмм?
10. Как строятся новые схематизированные диаграммы для сталей при действии нормальных и касательных напряжений?
11. Как строится новая схематизированная диаграмма для высокопрочных чугунов?
12. В чем достоинства и недостатки предлагаемых новых схематизированных диаграмм?
13. Как влияет на напряжения при переменных нагрузках концентрация напряжений и абсолютные размеры детали?
14. Какие напряжения называются номинальными?
15. Что называют концентраторами напряжений?
16. Что называется эффективным коэффициентом концентрации напряжений?
17. Что называется теоретическим коэффициентом концентрации напряжений?
18. Что называется коэффициентом чувствительности  $q$ ?

**Тема 7.** Конструкции коленчатых валов: порядок работы рядных и V-образных поршневых двигателей, угол смещения очередных по порядку работы цилиндров кривошипов, передача момента на маховик, подвод смазки, фиксация вала, влияние на прочность крутильных колебаний. Методы упрочнения коленчатых валов. Расчет набегающих моментов на коренных и шатунных шейках, расчет шеек на усталость, особенности расчета щек. Конечно-элементные модели, используемые при расчете коленчатых валов: кинематические граничные условия, способы приложения нагрузки, типы элементов.

Эта тема достаточно полно рассмотрена в учебном пособии [1, 2], из дополнительной литературы [5], предлагается для самостоятельного изучения.

При самостоятельном изучении темы необходимо ответить самостоятельно на следующие вопросы.

1. Как проводится расчет многоопорного коленчатого вала?
2. Как определяются набегающие моменты на коренные шейки?

3. Как определяются набегающие моменты на шатунные шейки?
4. Почему коренные шейки рассчитываются только на кручение?

**Тема 8.** Конструкция, материалы и покрытия коренных и шатунных подшипников. Расчет подшипников скольжения.

Цель самостоятельного изучения – научиться правильно подбирать подшипники скольжения

Эта тема достаточно полно рассмотрена в учебном пособии [5], глава 2, пп. 2.1.1 - 2.1.4, а п.п.2.1.5-2.1.6 предлагается для самостоятельного изучения. При изучении темы необходимо подготовит ответы на следующие вопросы.

1. Из каких материалов состоят подшипники скольжения?
2. Какие нагрузки испытывают подшипники скольжения?
3. Как производится смазывание коренных и шатунных подшипников?
4. Что предохраняет подшипники от проворачивания в постеле?
5. Что такое выступание подшипника?

**Тема 9.** Шатуны. Конструкции элементов шатуна – поршневой головки, стержня, кривошипной головки, шатунных болтов, виды разъемов кривошипной головки шатуна. Расчет поршневой головки, эпюра напряжений; расчет стержня в двух плоскостях, особенности расчета кривошипной головки. Конечно-элементные модели, используемые при расчете шатунов: кинематические граничные условия, способы приложения нагрузки, типы элементов.

Цель самостоятельного изучения – освоить методы расчета шатунов автомобильных и тракторных двигателей.

Эта тема достаточно полно рассмотрена в дополнительных учебных пособиях [4, 5], При изучении темы необходимо найти ответы на следующие вопросы.

1. Как уменьшить нагрузку на поршневую головку?
2. Почему стержень шатуна имеет двутавровую форму поперечного сечения?
3. В каких сечениях возникает концентрация напряжений?

**Тема 10.** Расчет резьбовых соединений, коэффициент основной нагрузки для различных резьбовых соединений. Величина нагрузки, прикладываемой к болту или шпильке при действии переменных нагрузок. Конструкции шатунных болтов. Особенности расчета шатунных болтов с учетом деформации вкладышей. Расчет момента затяжки, определение момента на ключе.

Цель самостоятельного изучения – научиться составлять эквивалентную схему коленчатых валов поршневых двигателей.

Эта тема достаточно полно рассмотрена в учебном пособии [3], глава 1, п.п. 1.1-1-3, а для самостоятельного изучения п. 1.4, 1.5.

Для самостоятельного изучения рекомендуется ответить на следующие вопросы.

**Тема 11.** Конструкции поршней автотракторных поршневых двигателей: высота жарового пояса, число колец, высота головки и юбки, овализация, смещение оси пальца, терморегулирующие вставки, нирезистовые вставки в канавку первого кольца, покрытия. Расчет днища, верхней кольцевой перемычки, зазоров. Современные материалы и технологии, используемые при изготовлении поршней.

Эта тема достаточно полно рассмотрена на лекции и дана в учебном пособии [3], глава 2, п.п.2.1- 2.5, а для самостоятельного изучения п. 2.6. При самостоятельном изучении необходимо ответить на следующие вопросы.

**Тема 12.** Конструкции и условия работы поршневых колец, их виды. Среднее радиальное давление, виды эпюр колец (грушевидная, яблоковидная, равномерная), напряжение в рабочем состоянии и при надевании на поршень, расчет зазора в замке. Современные материалы и технологии, используемые при изготовлении поршневых колец.

Цель изучения – дать рекомендации по демпфированию крутильных колебаний.

Эта тема достаточно полно рассмотрена на лекции и дана в учебном пособии [3], глава 3, п.п.3.1- 3.4, а для самостоятельного изучения п.п. 4.1-4.4. При самостоятельном изучении необходимо ответить на следующие вопросы.

**Тема 13.** Конструкции поршневых пальцев: плавающие, запрессованные в головку шатуна, облегченные с ребрами жесткости, с профилированными рабочими поверхностями, условия работы. Расчетная схема по Кинасошвили, расчет на изгиб, срез, овализацию и усталость; эпюра овализации, определение наиболее опасного сечения, отличия при расчете плавающих и запрессованных пальцев. Современные материалы и технологии, используемые при изготовлении поршневых пальцев. Использование метода конечных элементов при расчете поршневой группы: методы определения и задания граничных условий теплообмена, силовой нагрузки, кинематических граничных условий при разных уровнях моделирования.

Цель изучения – дать рекомендации по демпфированию крутильных колебаний.

Эта тема достаточно полно рассмотрена на лекции и дана в учебном пособии [3], глава 3, п.п.3.1- 3.4, а для самостоятельного изучения п.п. 4.1-4.4. При самостоятельном изучении необходимо ответить на следующие вопросы.

Для подготовки к экзаменам предлагаются следующие вопросы.

#### 7 семестр.

- Тема 1. Выбор основных параметров поршневых двигателей: тип двигателя; среднее эффективное давление; частота вращения и средняя скорость поршня; отношение хода поршня к диаметру цилиндра; отношение радиуса кривошипа к длине шатуна; число цилиндров; тактность, рабочий объем цилиндра, вид охлаждения; диаметр цилиндра.
- Тема 2. Выбор компоновочной схемы поршневого двигателя, преимущества и недостатки схем.
- Тема 3. Основные показатели поршневого двигателя: удельная мощность, литровая и поршневая мощность; удельная масса, литровая масса, эффективные показатели. Анализ достигнутого уровня.
- Тема 4. Этапы проектирования тепловых двигателей: техническое задание; эскизный, технический и рабочий проекты.

- Тема 5. Изменение показателей рабочего процесса поршневого двигателя по внешней скоростной характеристике.
- Тема 6. Выбор расчетных режимов поршневого двигателя – при номинальной (максимальной) мощности, при максимальном крутящем моменте, на режиме максимальной частоты вращения холостого хода. Расчетные режимы двухтактных двигателей.
- Тема 7. Моделирование внешней скоростной и регуляторной характеристик поршневого двигателя на стадии проектирования.
- Тема 8. Влияние знакопеременного характера изменения сил и моментов на особенности расчета деталей тепловых двигателей.
- Тема 9. Конструкции коленчатых валов: порядок работы рядных и V-образных поршневых двигателей, угол смещения очередных по порядку работы цилиндров кривошипов, передача момента на маховик, подвод смазки, фиксация вала, влияние на прочность крутильных колебаний. Методы упрочнения коленчатых валов. Расчет набегающих моментов на коренных и шатунных шейках, расчет шеек на усталость, особенности расчета щек. Конечно-элементные модели, используемые при расчете коленчатых валов: кинематические граничные условия, способы приложения нагрузки, типы элементов.
- Тема 10. Конструкция, материалы и покрытия коренных и шатунных подшипников. Расчет подшипников скольжения.
- Тема 11. Шатуны. Конструкции элементов шатуна – поршневой головки, стержня, кривошипной головки, шатунных болтов, виды разъемов кривошипной головки шатуна. Расчет поршневой головки, эпюра напряжений; расчет стержня в двух плоскостях, особенности расчета кривошипной головки. Расчет резьбовых соединений, коэффициент основной нагрузки для различных резьбовых соединений. Величина нагрузки, прикладываемой к болту или шпильке при действии переменных нагрузок. Конструкции шатунных болтов. Особенности расчета шатунных болтов с учетом деформации вкладышей. Расчет момента затяжки, определение момента на ключе.
- Тема 12. Физическая природа и характеристики основных факторов разрушения действующих на термонагруженные детали двигателя внутреннего сгорания: малоцикловая усталость, многоцикловая усталость, высокотемпературная ползучесть, релаксация напряжений. Учет влияния этих факторов при оценке долговечности деталей двигателей.
- Тема 13. Конструкции поршней автотракторных поршневых двигателей: высота жарового пояса, число колец, высота головки и юбки, овализация, смещение оси пальца, терморегулирующие вставки, нирезистовые вставки в канавку первого кольца, покрытия. Расчет днища, верхней кольцевой перемычки, зазоров. Современные материалы и технологии, используемые при изготовлении поршней.
- Тема 14. Конструкции и условия работы поршневых колец, их виды. Среднее радиальное давление, виды эпюр колец (грушевидная, яблоковидная, равномерная), напряжение в рабочем состоянии и при надевании на поршень, расчет зазора в замке. Современные материалы и технологии, используемые при изготовлении поршневых колец.
- Тема 15. Конструкции поршневых пальцев: плавающие, запрессованные в головку шатуна, облегченные с ребрами жесткости, с профилированными рабочими поверхностями, условия работы. Расчетная схема по Кинасошвили, расчет на изгиб, срез, овализацию и усталость; эпюра овализации, определение наиболее опасного сечения, отличия при расчете плавающих и запрессованных пальцев. Современные материалы и технологии, используемые при изготовлении поршневых пальцев.

### **а) Основная литература**

1. Гоц А.Н. Расчеты на прочность деталей ДВС при напряжениях, переменных во времени: учебное пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ; инфра-м, 2013. – 208 с.
2. Гоц А.Н. Расчеты на прочность деталей ДВС при напряжениях, переменных во времени: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. Владим. гос. ун-т имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ. 2011 – 140 с.
3. Гоц А.Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ; инфра-м, 2015. – 324 с.
4. Гоц А.Н., Эфрос В.В. Порядок проектирования автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 148 с.
5. Гоц А.Н. Анализ уравновешенности и способы уравновешивания автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 128 с.

### **б) Дополнительная литература**

1. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей/Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, С.И. Ефимов и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. - М.: Машиностроение, 1983.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей/Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, С.И. Ефимов и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. - М.: Машиностроение, 1984. 384 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей/Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, С.И. Ефимов и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. - М.: Машиностроение, 1985.
4. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания. Кн. 2. Динамика и конструирование / В.Н. Луканин [и др.]; под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высш. шк., 2005. – 240 с.
5. Чайнов Н.Д., Иващенко Н.А. и др. Конструирование двигателей внутреннего сгорания. Под ред Н.Д. Чайнова. М.: Машиностроение, 208. – 496 с.

### **в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. Программы расчета циклов двигателя: BENDN – бензиновых двигателей; DIZDN – дизелей; GAZDN – газовых двигателей.
2. Программа динамического расчета двигателей DINN.
3. Программный комплекс «Diesel RK». Бесплатный удаленный доступ к системе ДИЗЕЛЬ-РК <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=Vozmojnosti>.
4. Перечень литературы по расчету, кинематике и динамике ДВС можно найти на сайтах: <http://www.twirpx.com/files/transport/dvs/cindyn/>; <http://vlgu.info/files/details.php?file=27>