

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)



Проректор
по образовательной деятельности

А.А. Панфилов

«30» 08 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Динамика двигателей»

Направление подготовки 13.03.03 – энергетическое машиностроение
Профиль/программа подготовки – двигатели внутреннего сгорания
Уровень высшего образования – бакалавриат
Форма обучения очная

Се- местр	Трудоемкость зач. ед./час.	Лек- ции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час	СРС, час.	Форма промежу- точной аттестации (экзамен/зачет/за- чет с оценкой)
6	7/252	36	18	18	135	экзамен (45), КП
Итого	7/252	36	18	18	135	экзамен(45), КП

Владимир 2019

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины:

- формирование знаний в области динамики поршневых двигателей внутреннего сгорания;
- ознакомление студентов со схемами преобразующих механизмов ДВС, кинематикой и динамикой кривошипно-шатунных механизмов;
- способами уравнивания сил и моментов, от которых зависят не только общий уровень вибраций, но и производительность, ресурс, надежность и точность работы энергетической установки;
- научить правильно анализировать полученные результаты расчета и выбирать оптимальные варианты по выбранным заранее критериям.

Задачи дисциплины:

- привитие навыков для определения сил, действующих в кривошипно-шатунном механизме (КШМ);
- обучения методов уравнивания двигателей;
- обучения методов динамических расчетов;
- научить проводить расчеты крутильных колебаний коленчатых валов и способов обеспечения надежной работы двигателей в составе энергетических установок.
- сформировать у студентов навыков и умений по организации проведения расчетных исследований, как в процессе обучения, так и в производственных условиях.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Динамика двигателей» относится к вариативной части дисциплин.

Для успешного изучения курса студенты должны быть знакомы с основными положениями следующих дисциплин: «Теоретическая механика» (разделы: условия равновесия, динамика систем), «Механика материалов и конструкций» (разделы: напряженное и деформированное состояние, главные напряжения, расчеты на прочность при одноосном и сложном напряженных состояниях), «Высшая математика» (разделы: дифференцирование и интегрирование, дифференциальные уравнения, матрицы, ряды, алгебра и дифференциальные уравнения), «Теория рабочих процессов» (циклы поршневых двигателей, эффективные показатели поршневого двигателя, изменение показателей при наддуве) информатики (использование стандартных программ Microsoft Office Excel и др.).

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ПК-3	Полное	Знать: конкретные технические решения при создании объ-

		<p>ектов энергетического оборудования, а также смежных областях науки и техники.</p> <p>Уметь: применять методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач.</p> <p>Владеть: современными компьютерными технологиями в своей предметной области.</p>
ПК-9	Полное	<p>Знать: как применять высокоэффективные машины, двигатели и установки для преобразования и потребления различных форм энергии.</p> <p>Уметь: определять последовательность решения задач для принятия решения при проектировании и исследовании технических систем.</p> <p>Владеть: формулировать критерии принятия решения с целью получения поставленной задачи исследования.</p>

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Кинематика кривошипно-шатунного механизма. Общие сведения. Кинематика поршня.	6	1	2	2	-	8	2/50	
2	Кинематика шатуна. Дезаксиальный кривошипно-шатунный механизм. Дезаксиальный кривошипно-шатунный механизм со сдвоенными кинематическими связями.	6	2	2	-	2	8	2/50	
3	Динамика кривошипно-шатунного механизма. Общие сведения. Массы движущихся деталей кривошипно-шатунного механизма и их приведение. Силы инерции кривошипно-шатунного механизма. Силы давления газов.	6	3	2	2	-	8	1/25	
4	Суммарные силы, действующие в кривошипно-шатунном механизме. Суммарные силы, действующие в дезаксиальном кривошипно-шатунном механизме со сдвоенными кинематическими связями.	6	4	2	-	2	8	2/50	
5	Усилия, действующие на шатунные шейки кривошипа и шатунный подшипник. Полярные диаграммы.	6	5	2	2	-	8	2/50	Рейтинг-контроль №1
6	Усилия, действующие на коренные шейки коленчатого вала и коренной подшипник. Определение реакций, действующих на	6	6	2	-	2	8	1/25	

	коренные шейки.								
7	Программа динамического расчета кривошипно-шатунного механизма и построение полярной диаграммы нагрузок на коренные шейки. Табличный метод построения полярной диаграммы нагрузок на коренные шейки.	6	7	2	2	-	8	2/50	
8	Крутящий момент многоцилиндрового двигателя и моменты, скручивающие шейки вал. Набегающие моменты.	6	8	2	-	2	8	2/50	
9	Влияние параметров кривошипно-шатунного механизма на показатели двигателя. Ударные нагрузки в кривошипно-шатунном механизме.	6	9	2	2	-	8	2/50	
10	Анализ уравновешенности автомобильных и тракторных двигателей. Уравновешивание центробежных сил. Общие зависимости для анализа уравновешенности поршневых двигателей.	6	10	2	-	2	8	-	
11	Уравновешивание однорядных одноцилиндровых и двухцилиндровых двигателей.	6	11	2	2	-	8	2/50	Рейтинг-контроль №2
12	Уравновешивание однорядных трехцилиндровых и четырехцилиндровых двигателей.	6	12	2	-	2	8	1/25	
13	Уравновешивание V-образных двухцилиндровых и четырехцилиндровых двигателей.	6	13	2	2	-	8	2/50	
14	Уравновешивание V-образных шестицилиндровых и восьмицилиндровых двигателей. Равномерность крутящего момента и равномерность хода.	6	14	2	-	2	8	2/50	
15	Расчет эквивалентной системы коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей.	6	15	2	2	-	8	2/50	
16	Свободные крутильные колебания. Определение частот свободных крутильных колебаний.	6	16	2	-	2	8	2/50	
17	Вынужденные крутильные колебания.	6	17	2	2	-	8	-	Рейтинг-контроль №3
18	Демпфирование крутильных колебаний. Расчет демпферов крутильных колебаний.	6	18	2	-	2	8	2/50	
Всего за 6 семестр				36	18	18	144	29/40	экзамен (45),
Наличие в дисциплине КП/КР									КП
Итого по дисциплине				36	18	18	144	29/40	экзамен (45) КП

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Предмет и задачи динамики двигателей. Кинематика кривошипно-шатунного механизма.

Содержание темы.

Общие сведения о кинематике кривошипно-шатунного механизма. Кинематика поршня : перемещение, скорость и ускорение.

Раздел 2. Кинематика шатуна.

Содержание темы. Кинематика шатуна. Дезаксиальный кривошипно-шатунный механизм. Дезаксиальный кривошипно-шатунный механизм со сдвоенными кинематическими связями.

Тема 3. Динамика кривошипно-шатунного механизма.

Содержание темы.

Динамика кривошипно-шатунного механизма. Общие сведения. Массы движущихся деталей кривошипно-шатунного механизма и их приведение. Силы инерции кривошипно-шатунного механизма. Силы давления газов.с

Тема 4. Силы, действующие в кривошипно-шатунном механизме.

Содержание темы.

Суммарные силы, действующие в кривошипно-шатунном механизме. Суммарные силы, действующие в дезаксиальном кривошипно-шатунном механизме со сдвоенными кинематическими связями.

Тема 5. Полярные диаграммы нагрузок на шатунные шейки.

Содержание темы.

Усилия, действующие на шатунные шейки кривошипа и шатунный подшипник. Полярные диаграммы.

Тема 6. Усилия, действующие на коренные шейки коленчатого вала.

Содержание темы.

Усилия, действующие на коренные шейки коленчатого вала и коренной подшипник. Определение реакций, действующих на коренные шейки.

Тема 7. Программа динамического расчета.

Содержание темы.

Программа динамического расчета кривошипно-шатунного механизма и построение полярной диаграммы нагрузок на коренные шейки. Табличный метод построения полярной диаграммы нагрузок на коренные шейки.

Тема 8. Крутящий момент многоцилиндрового двигателя.

Содержание темы.

Крутящий момент многоцилиндрового двигателя и моменты, скручивающие шейки вал. Набегающие моменты.

Тема 9. Влияние параметров кривошипно-шатунного механизма на показатели двигателя.

Содержание темы.

Влияние параметров кривошипно-шатунного механизма на показатели двигателя. Ударные нагрузки в кривошипно-шатунном механизме.

Тема 10. Анализ уравновешенности автомобильных и тракторных двигателей.

Содержание темы.

Анализ уравновешенности автомобильных и тракторных двигателей. Уравновешивание центробежных сил. Общие зависимости для анализа уравновешенности поршневых двигателей.

Тема 11. Уравновешивание однорядных одноцилиндровых и двухцилиндровых двигателей.

Содержание темы.

Уравновешивание однорядных одноцилиндровых и двухцилиндровых двигателей.

Тема 12. Уравновешивание однорядных трехцилиндровых и четырехцилиндровых двигателей.

Содержание темы.

Уравновешивание однорядных трехцилиндровых и четырехцилиндровых двигателей.

Тема 13. Уравновешивание V-образных двухцилиндровых и четырехцилиндровых двигателей.

Содержание темы.
Уравновешивание V-образных двухцилиндровых и четырехцилиндровых двигателей.

Тема 14. Уравновешивание V-образных шестицилиндровых и восьмицилиндровых двигателей. Равномерность крутящего момента и равномерность хода.

Содержание темы.

Уравновешивание V-образных шестицилиндровых и восьмицилиндровых двигателей. Равномерность крутящего момента и равномерность хода.

Тема 15. Расчет эквивалентной системы коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей.

Содержание темы.

Расчет эквивалентной системы коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей.

Тема 16. Свободные крутильные колебания. Определение частот свободных крутильных колебаний.

Содержание темы.

Свободные крутильные колебания. Определение частот свободных крутильных колебаний.

Тема 17. Вынужденные крутильные колебания.

Содержание темы.

Вынужденные крутильные колебания. Определение амплитуд крутильных колебаний при резонансе.

Тема 18. Демпфирование крутильных колебаний.

Содержание темы.

Демпфирование крутильных колебаний. Расчет резиновых и жидкостных демпферов крутильных колебаний.

Содержание практических занятий по дисциплине

Раздел 1. Кинематика поршня и шатуна.

Содержание темы.

Построение графиков перемещений, скоростей и ускорений поршня и шатуна.

Тема 2. Динамика кривошипно-шатунного механизма.

Содержание темы.

Расчет и построение графиков сил, действующих в кривошипно-шатунном механизме.

Тема 3. Полярные диаграммы нагрузок на шатунные шейки.

Содержание темы.

Расчет усилий, действующих на шатунные шейки коленчатого вала и построение полярной диаграммы.

Тема 4. Полярные диаграммы нагрузок на коренные шейки.

Содержание темы.

Расчет усилий, действующих на коренные шейки коленчатого вала и построение полярной диаграммы.

Тема 5. Построение диаграмм износа на шатунные и коренные шейки.

Содержание темы.

Построение условных диаграмм износа на шатунные и коренные шейки.

Тема 6. Набегающие моменты на шейки коленчатого вала.

Содержание темы.

Расчет набегающих моментов на шейки коленчатого вала.

Тема 7. Уравновешивание четырехцилиндровых двигателей.

Содержание темы.

Уравновешивание четырехцилиндровых двигателей.

Тема 8. Расчет эквивалентной крутильной системы.

Содержание темы.

Расчет эквивалентной крутильной системы и определение частот свободных колебаний.

Тема 9. Расчет демпферов крутильных колебаний.

Содержание темы.

Расчет демпферов крутильных колебаний.

Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Тема 1. Определение моментов инерции деталей двигателя.

Содержание темы.

Экспериментальные методы определения осевого момента инерции деталей двигателя относительно оси, проходящей через центр масс.

Тема 2. Приведение масс шатуна.

Содержание темы.

Методы приведения масс шатуна и экспериментальное определение:

- положение центра массы шатуна;
- массы шатуна, отнесенные к оси поршневого пальца и к оси кривошипной головки.

Тема 3. Определение неравномерности хода двигателя на установившемся режиме.

Содержание темы.

Условия неравномерности хода двигателя на установившемся режиме и экспериментальное определение степени неравномерности хода двигателя при его работе в стендовых условиях.

Тема 4. Изучение вибраций двигателя в стендовых условиях.

Содержание темы.

Условия возникновения вибраций поршневого двигателя. Приборы для измерения вибрации и экспериментальное определение уровня вибрации в различных точках двигателя при его работе в стендовых условиях.

Тема 5. Исследование жесткости деталей механизма газораспределения двигателя.

Содержание темы.

Методы экспериментального исследования жесткости деталей привода клапана и определение его частоты собственных колебаний.

Тема 6. Исследование колебаний клапанного механизма двигателя.

Содержание темы.

Методы экспериментального исследования колебаний клапанного механизма и определение действительных нагрузок на детали привода клапана.

Тема 7. Экспериментальное исследование крутильных колебаний коленчатого вала

Содержание темы.

Методы экспериментального исследования крутильных колебаний коленчатого вала двигателя.

Тема 8. Исследование системы уравнивания двухцилиндрового рядного двигателя.

Содержание темы.

Анализ уравновешенности двухцилиндрового дизеля Д-120; определение параметров системы уравновешивания моментов от центробежных сил и сил инерции первого порядка.

Тема 9. Экспериментальное исследование демпферов крутильных колебаний.

Содержание темы.

Методы экспериментального исследования крутильных колебаний демпферов коленчатых валов ДВС.

Лабораторные работы выполняются в специализированной лаборатории кафедры. Для их выполнения на кафедре выпущено учебно-методическое пособие. После выполнения лабораторной работы студенты оформляют отчет и защищают выполненную работу преподавателю.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С целью формирования и развития профессиональных навыков у студентов при проведении лекционных, практических и лабораторных занятий, а также при приеме курсовых работ и руководстве самостоятельной работой применяются следующие образовательные технологии.

При проведении лекционных занятий используются электронные средства обучения (ЭСО), разработанного кафедрой. Вид ЭСО – комплект компьютерных слайдов в формате ppt. в количестве 751 единиц. Принципиальное новшество, вносимое компьютером в образовательный процесс, – интерактивность, позволяющая развивать активностно-деятельностные формы обучения. Например, при обсуждении перемещения, скорости и ускорения поршня на экране высвечивается графики указанных показателей. Студентам предлагается указать на возможные мероприятия по снижению, например, ускорения. Именно это новое качество позволяет надеяться на эффективное, реально полезное расширение сектора самостоятельной учебной работы.

Перед началом каждой лекции лектор напоминает студентам о тех вопросах, которые были рассмотрены на предыдущих занятиях (лекциях и практических занятиях), а после этого ставим перед аудиторией задачи, которые следует решить.

При проведении практических занятий используются модульное обучение, при котором каждый модуль начинается: а) с входного контроля знаний и умений (для определения уровня готовности обучаемых к предстоящей самостоятельной работе); б) с выдачи индивидуального задания, основанного на таком анализе. Заданием являются: результат расчета по курсовому проекту, контрольная работа, тесты, устные и письменные опросы. Модуль всегда должен заканчиваться контрольной проверкой знаний. Контролем промежуточным и выходным проверяется уровень усвоения знаний и выработки умений в рамках одного модуля или нескольких модулей. Затем – соответствующая доработка, корректировка, установка на следующий «виток», т.е. последующий модуль.

При использовании модульного обучения повышается качество обучения за счет того, что все обучение направлено на отработку практических навыков; компетенция определяет необходимые личностные качества; сокращение сроков обучения; реально осуще-

ствляется индивидуализация обучения при реальной возможности создания индивидуальных программ обучения; быстрая адаптация учебно-методического материала к изменяющимся условиям, гибкое реагирование.

При этом соблюдается постоянная обратная связь преподавателя и студента. Например, выборочно задается студентам вопрос по некоторым изучаемым в модуле вопросам и студенты дают свои варианты ответов. В этом случае обеспечивается активная роль студентов на занятиях, так как отвечать на вопросы может каждый.

Быстрое развитие вычислительной техники и расширение её функциональных возможностей позволяет широко использовать компьютеры на всех этапах учебного процесса: во время лекции, практических занятий, при самоподготовке, а также для контроля и самоконтроля степени усвоения учебного материала. Использование компьютерных технологий значительно расширило возможности на консультациях, позволяя моделировать различные процессы и явления, натурная демонстрация которых в лабораторных условиях технически очень сложна либо просто невозможна. По некоторым разделам курса кафедрой выпущены учебные пособия, а электронные версии их размещены в электронной библиотеке ВлГУ, а также на сайте кафедры. Это позволяет в любой момент обратиться к источнику. Студентам выдается раздаточный материал (сложные схемы, чертежи и т.д.) с целью уменьшения затрат времени на оформление студентами чертежей и рисунков во время лекции или при проведении практических занятий..

Часто на практических занятиях используются методы проблемного обучения. Схема проблемного обучения, представляется как последовательность процедур, включающих: постановку преподавателем учебно-проблемной задачи, создание для студентов проблемной ситуации; осознание, принятие и разрешение возникшей проблемы, в процессе которого они овладевают обобщенными способами приобретения новых знаний; применение данных способов для решения конкретных задач. Например, как обеспечить уравновешенность трехцилиндрового и четырехцилиндрового двигателей. Для повышения творческой деятельности студентов посредством постановки проблемно сформулированных заданий и активизации, за счет этого, их познавательного интереса и, в конечном счете, всей познавательной деятельности, поскольку за счет дополнительного рассмотрения справочников приобретаются новые знания.

Усвоение студентами знаний, добытых в ходе активного поиска и самостоятельного решения проблем более прочные, чем при традиционном обучении. Кроме того, при таком обучении происходит воспитание активной, творческой личности студента, умеющего видеть и решать нестандартные профессиональные проблемы.

Наконец, при проведении практических занятий или консультаций используется проектный метод обучения. Проектный метод **предполагает решение какой-то проблемы**, предусматривающей, с одной стороны, использование разнообразных методов, с другой – интегрирование знаний, умений из различных областей науки, техники, технологии, творческих областей.

В основе проектного метода лежит развитие познавательных навыков студентов, умений самостоятельно показывать свои знания, умений ориентироваться в информационном пространстве, развитие критического мышления. Студентам выдается индивиду-

альное задание. Под руководством преподавателя студенты решают возникшие проблемные ситуации, в результате чего и происходит творческое овладение профессиональными знаниями, навыками и умениями и развитие мыслительных способностей. При этом студенты используют учебные компьютерные программы для проведения расчетов, построения графиков.

Активно используются информационно-коммуникационные технологии – взаимный обмен электронного портфолио преподавателя и студента, что позволяет студенту использовать материалы из портфолио преподавателя, а преподавателю – лучшие работы студентов (это касается в основном показателей лучших зарубежных образцов, выпускаемых в настоящее время). Таким образом, создается единая образовательная среда, которая обеспечивает эффективное взаимодействие преподавателей и студентов. За счет широкого использования интернета студенты часто находят интересные решения, которые не всегда известны преподавателю.

В преподавании дисциплины «Динамика двигателей» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения. Например, при изучении уравнивания четырех цилиндрового двигателя сначала рассматриваем саму проблему, анализируем ситуацию, а далее по результатам **групповой дискуссии** принимаем решение.

Используется **метод проигрывания ролей**, например, в качестве главного конструктора при проектировании двигателя для выбора оптимальной конструкции.

При решении любой задачи на практических занятиях, всегда проводится анализ и разбор конкретных ситуаций по проблеме, прежде чем будет принято какое-то решение.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Текущий контроль успеваемости 6 семестр

Первый рейтинг-контроль

Вопросы для рейтинг-контроля.

1. Какое движение совершает шатун при вращении кривошипа ?
2. От чего зависит максимальное угловое перемещение шатуна ?
3. Как приближенно можно описать угловую скорость качания шатуна ?
4. При каком угле поворота кривошипа угловая скорость качания шатуна достигает максимального значения ?
5. Как приближенно можно описать угловое ускорение качания шатуна ?
6. При каком угле поворота кривошипа угловое ускорение качания шатуна достигает максимального значения ?
7. Связаны ли угловые скорость и ускорение качания шатуна дифференциально-интегральной зависимостью ? Почему ?
8. Как представляются силы инерции масс, совершающих возвратно-поступательное движение?
9. Как действует сила инерции масс, совершающих возвратно-поступательное движение?
10. Чем уравнивается сила инерции масс, совершающих возвратно-поступательное движение?

11. Как определяется сила инерции первого порядка масс, совершающих возвратно-поступательное движение?
12. Как определяется сила инерции второго порядка масс, совершающих возвратно-поступательное движение?
13. На какие детали двигателя воздействуют центробежные силы инерции?
14. Как представляются силы инерции масс, совершающих возвратно-поступательное движение?
15. Как действует сила инерции масс, совершающих возвратно-поступательное движение?
16. Чем уравнивается сила инерции масс, совершающих возвратно-поступательное движение?
17. Как определяется сила инерции первого порядка масс, совершающих возвратно-поступательное движение?
18. Как определяется сила инерции второго порядка масс, совершающих возвратно-поступательное движение?
19. На какие детали двигателя воздействуют центробежные силы инерции?
20. С какой целью рекомендуется вычислять реакции на опорах отдельно выделенного кривошипа от каждой силы в отдельности?
21. Как определяется угловой интервал, на которые сдвинуты такты расширения для равномерного хода двигателя?
22. Влияют ли на угловые интервалы конструкция коленчатого вала?
23. От чего зависит нагрузка на коренную шейку коленчатого вала поршневого двигателя?
24. Как строится полярная диаграмма нагрузок на коренную шейку коленчатого вала?

Второй рейтинг-контроль

Вопросы для рейтинг-контроля.

1. Какой двигатель считается полностью уравновешенным?
2. Какие силы и моменты передаются на опоры двигателя?
3. Можно ли уравновесить опрокидывающий момент?
4. Что такое статическое уравнивание?
5. Что такое динамическое уравнивание?
6. Какие условия необходимо обеспечить при сборке для уравнивания поршневого двигателя?
7. Влияет ли регулировка топливной аппаратуры на уравнивание двигателя?
8. Влияют ли допуски на изготовление деталей двигателя на его уравнивание?
9. Почему для одноцилиндрового двигателя нельзя уравновесить силы инерции первого порядка противовесами на продолжении щек коленчатого вала?
10. Как для одноцилиндрового двигателя можно уравновесить силы инерции второго порядка?
11. Какие недостатки имеет способ уравнивания сил инерции первого порядка с одним уравнивающим валом?
12. Какие силы или их моменты неуравновешены в двухцилиндровых двигателях с кривошипами, расположенными под углом 180° ?
13. Какие силы или их моменты неуравновешены в двухцилиндровых двигателях с кривошипами, расположенными под углом 360° ?
14. Как уравниваются центробежные силы инерции в двухцилиндровых двигателях с кривошипами, расположенными под углом 180° ?
15. Как уравниваются центробежные силы инерции в двухцилиндровых двигателях с кривошипами, расположенными под углом 360° ?
16. Как уравниваются моменты сил инерции первого порядка в двухцилиндро-

вых двигателях с кривошипами, расположенными под углом 180° ?

17. Как уравниваются силы инерции первого порядка

Третий рейтинг-контроль

Вопросы для рейтинг-контроля.

1. Какой из двухцилиндровых двигателей по Вашему мнению имеет преимущество по уравниванию – однорядный или V-образный с углом развала 90° ?
2. Почему в двухцилиндровых V-образных (с углом развала 90°) двигателях силы инерции второго порядка не уравниваются?
3. Какую траекторию описывает конец вектора равнодействующей силы инерции первого порядка в двухцилиндровых
4. Почему возникла необходимость использование V-образной схемы для четырехцилиндрового четырехтактного двигателя?
5. Какие силы и их моменты неуравновешены в V-образном четырехцилиндровом четырехтактном двигателе?
6. Как можно уравновесить в V-образном четырехцилиндровом четырехтактном двигателе силы инерции второго порядка?
7. Поясните, почему момент сил инерции второго порядка в V-образном четырехцилиндровом четырехтактном двигателе равен нулю?
8. Как учитывается при вычислении полярного момента инерции эксцентриситет внутреннего отверстия?
9. Что такое приведенная длина кривошипа?
10. Что такое коэффициент жесткости кривошипа?
11. Как определяется момент инерции масс щеки относительно оси, проходящей через коренные шейки коленчатого вала?
12. Как определяется момент инерции масс одного кривошипа?
13. Как учитывается масса возвратно-поступательно движущихся частей кривошипно-шатунного механизма при определении моментов инерции приведенных масс?
14. Как учитываются коэффициенты жесткости и моменты инерции вала с зубчатой передачей?
15. Что называется коэффициентом жесткости участка вала?
16. Дайте определение круговой частоты свободных угловых колебаний. Какая размерность этой величины?
17. Что такое период крутильных колебаний?
18. Как составляется дифференциальное уравнение свободных крутильных колебаний?
19. Какие демпферы крутильных колебаний в основном используются в автомобильных и тракторных двигателях?
20. Как снижает уровень крутильных колебаний резиновый демпфер?
21. Какие эксплуатационные отказы возникают в резиновых демпферах?
22. Как снижает уровень крутильных колебаний жидкостный демпфер?
23. Какая жидкость используется в жидкостных демпферах?
24. Что называется дилатансией жидкости ПМС?
25. В чем отличие демпфера крутильных колебаний внутреннего трения от жидкостного?

Контрольные вопросы к экзамену

1. Кинематика поршня.
2. Кинематика шатуна.
3. Массы движущихся деталей кривошипно-шатунного механизма и их приведение.
4. Силы инерции кривошипно-шатунного механизма.

5. Силы давления газов.
6. Суммарные силы, действующие в кривошипно-шатунном механизме.
7. Усилия, действующие на шатунные шейки кривошипа и шатунный подшипник.
8. Усилия, действующие на коренные шейки коленчатого вала и коренной подшипник.
9. Табличный метод построения полярной диаграммы нагрузок на коренные шейки.
10. Крутящий момент многоцилиндрового двигателя и моменты, скручивающие шейки вала.
11. Влияние параметров кривошипно-шатунного механизма на показатели двигателя.
12. Ударные нагрузки в кривошипно-шатунном механизме.
13. Уравновешивание центробежных сил. Одноцилиндровые двигатели.
14. Уравновешивание однорядных двигателей. Однорядные двухцилиндровые четырехтактные двигатели.
15. Уравновешивание однорядных двигателей. Однорядные трехцилиндровые четырехтактные двигатели.
16. Уравновешивание однорядных двигателей. Однорядные четырехцилиндровые четырехтактные двигатели.
17. Уравновешивание однорядных двигателей. Однорядные шестицилиндровые четырехтактные двигатели.
18. Уравновешивание однорядных двигателей. Однорядные восьмицилиндровые четырехтактные двигатели.
19. Уравновешивание V-образных двигателей. Двухцилиндровый V-образный двигатель.
20. Уравновешивание V-образных двигателей. Четырехцилиндровый V-образный двигатель.
21. Уравновешивание V-образных двигателей. Шестицилиндровый V-образный двигатель.
22. Уравновешивание V-образных двигателей. Восьмицилиндровый V-образный двигатель.
23. Теоретическая и действительная уравновешенность двигателя.
24. Равномерность крутящего момента и равномерность хода.
25. Вибрационно-акустические качества двигателя.
26. Расчет эквивалентной системы коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей. Определения моментов инерции приведенных масс.
27. Расчет эквивалентной системы коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей. Приведение длин.
28. Составление расчетной схемы эквивалентной системы коленчатого вала.
29. Свободные крутильные колебания. Одномассовая система.
30. Свободные крутильные колебания. Двухмассовая система.
31. Свободные крутильные колебания. Трехмассовая система.
32. Свободные крутильные колебания. Многомассовая система.
33. Анализ форм свободных крутильных колебаний.
34. Вынужденные крутильные колебания. Анализ возбуждающих моментов.
35. Вынужденные крутильные колебания.
36. Методика и алгоритм гармонического анализа кривой крутящего момента ДВС.
37. Способы уменьшения амплитуд и дополнительных напряжений при крутильных колебаниях.
38. Демпферы крутильных колебаний.
39. Выбор оптимального коэффициента демпфирования и коэффициента жесткости упругого слоя демпферов внутреннего трения.
40. Расчет параметров демпферов внутреннего трения.
41. Особенности конструкции демпферов крутильных колебаний жидкостного трения.
42. Особенности конструкции демпферов крутильных колебаний внутреннего трения.

Самостоятельная работа

Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине

Задания для выполнения курсового проекта в 6 семестре

Провести кинематический и динамический расчет кривошипно-шатунного механизма четырехтактного бензинового двигателя (или дизеля) номинальной мощности N_e кВт при частоте вращения n мин⁻¹, с коэффициентом приспособляемости $K \leq 1,16$ (или номинальным коэффициентом крутящего момента $\mu_n \leq 15\%$), скоростным коэффициентом $K_n \leq 0,72$.

Примечание. При выдаче задания на курсовой проект каждому студенту указываются двигатели-прототипы, конструктивные параметры которых можно использовать при расчетах. Индивидуальные темы работы по курсовому проекту выдаются в соответствии с табл.1.

Таблица 1. Задание на курсовой проект по дисциплине «Динамика ДВС» для студентов группы Эн-

№ п/п	Ф.И.О. студента	Прототип	Исходные данные для проекта	Консультант
1		Дизель Д-145 Т S/D=120,0/105,0, $\varepsilon=16,5$	$N_H=50$ кВт; $n_H=2200$ мин ⁻¹ ; $K_n \geq 0,71$; $\mu_i \geq 18\%$	
2		Дизель Д-245-7Е2 S/D=125/110, $\varepsilon=16,5$	$N_H=48$ кВт; $n_H=2400$ мин ⁻¹ ; $K_n \geq 0,72$ $\mu_i \geq 14\%$	

Содержание курсового проекта по разделу «Кинематика кривошипно-шатунного механизма»

1. Провести расчет цикла двигателя на двух режимах: максимального крутящего момента и номинальном, определить конструктивные параметры кривошипно-шатунного механизма (диаметр и ход поршня) по данным расчета и двигателя-прототипа. Построить индикаторную диаграмму $p = f(v)$, перестроить ее в зависимости от угла поворота кривошипа $p = f(\varphi)$.
2. Построить графики перемещения s_p , скорости v_p и ускорения j_p поршня в зависимости от угла поворота φ кривошипа ($s_i = f(\varphi)$; $v_i = f(\varphi)$; $j_i = f(\varphi)$).
3. Построить графики угловых перемещения $\beta_{ш}$, скорости $\omega_{ш}$ и ускорения $\varepsilon_{ш}$ качания шатуна в зависимости от угла поворота φ кривошипа ($\beta_{\varphi} = f(\varphi)$; $\omega_{\varphi} = f(\varphi)$; $\varepsilon_{\varphi} = f(\varphi)$).

Содержание курсового проекта по разделам «Динамика кривошипно-шатунного механизма» и «Уравновешивание двигателей»

1. Приблизительно или по данным двигателя-прототипа определить массы деталей КШМ и цилиндрико-поршневой группы. Подготовить исходные данные для проведения динамического расчета на двух режимах.
2. Выбрать схему уравновешивания центробежных сил инерции и их моментов для неуравновешенных вращающихся масс, а также определить массы противовесов.
3. Выбрать схему уравновешивания сил инерции и их моментов от возвратно-поступательно движущихся масс, а также провести при необходимости их уравновешивание.

4. Выбрать схему кривошипов коленчатого вала (КВ) и определить силы и моменты, действующие в кривошипно-шатунном механизме. Динамический расчет проводится по программе *Dinn*, алгоритм которой приведен в прил. 2. Расчет рекомендуется провести на двух режимах: номинальном и максимального крутящего момента и выбрать наиболее нагруженный один расчетный режим.
5. Показать, изменятся ли полярные диаграммы нагрузок на коренные шейки КВ с учетом уравнивания и условные диаграммы их изнашивания.
6. Построить график удельных сил инерции $P_{j,уд}$ возвратно-поступательно движущихся масс, газовых $P_{г,уд}$ и суммарных сил $P_{с,уд}$ в прямоугольных координатах.
7. Определить суммарные удельные силы $N_{уд}$, $S_{уд}$, $K_{уд}$ и $T_{уд}$, а также индикаторные моменты двигателя на двух режимах, построить графики их в зависимости от угла поворота кривошипа.
8. Построить полярную диаграмму нагрузок на шатунную шейку коленчатого вала и условную диаграмму ее износа.
9. Построить полярную диаграмму нагрузок на наиболее нагруженную коренную шейку коленчатого вала и условную диаграмму ее износа.
10. Построить векторные диаграммы для определения величины и направления сил инерции первого и второго порядков.
11. Построить графики набегающих моментов на шатунные и коренные шейки коленчатого вала.
12. Построить график суммарного индикаторного крутящего момента для расчетного режима (номинальный или максимального крутящего момента), определить степень и коэффициент неравномерности вращения коленчатого вала.

***Содержание курсового проекта по разделу «Исследование
крутильных колебаний коленчатого вала»***

1. Провести расчет эквивалентной системы коленчатого вала исследуемого двигателя (определить приведенные длины, массы и коэффициенты крутильной жесткости). Расчет рекомендуется проводить по программам «Koleno», «Moment» и «Frig» или по формулам, приведенным в пособии.
2. Определить частоты и формы колебаний приведенной эквивалентной системы крутильно-колеблющейся системы коленчатого вала исследуемого двигателя.
3. Определить резонансные режимы по частотной диаграмме.
4. Провести гармонический анализ крутящего момента одного цилиндра.
5. Определить амплитуды резонансных колебаний.
6. Провести расчет дополнительных напряжений в узловой точке коленчатого вала при резонансных колебаниях.
7. Разработать мероприятия по снижению амплитуд резонансных колебаний, а при необходимости провести расчет и выбрать конструкцию демпфера крутильных колебаний.

Примерное содержание графической части проекта

На листы формата А1 вынести:

1. Графики $s_i = f(\varphi)$; $v_i = f(\varphi)$; $j_i = f(\varphi)$ и $\beta_\circ = f(\varphi)$; $\omega_\circ = f(\varphi)$; $\varepsilon_\circ = f(\varphi)$.
2. Графики сил $P_{j,уд}$, $P_{г,уд}$, $P_{с,уд}$, $N_{уд}$, $S_{уд}$, $K_{уд}$ и $T_{уд}$, суммарных индикаторных моментов для расчетного режима в зависимости от угла поворота кривошипа.

3. Полярные диаграммы нагрузок на шатунные и коренные шейки, а также условные диаграммы их износа.
4. Графики набегающих моментов на шатунные и коренные шейки коленчатого вала для расчетного режима.
5. Крутильные колебания (расчетная эквивалентная система, формы колебаний, частотная диаграмма, чертеж гасителя крутильных колебаний).

Курсовой проект по дисциплине «Динамика двигателей» – это самостоятельная, оригинальная работа, выполняемая студентами в соответствии с заданием на проектирование, включающая в себя отбор, распределение и информатизацию материала о кинематике и динамике поршневого двигателя. Под руководством преподавателя студенты решают возникшие проблемные ситуации, в результате чего и происходят творческое овладение профессиональными знаниями, навыками и умениями и развитие мыслительных способностей. В частности, студент сам должен выбрать компоновочную схему поршневого двигателя (однорядный или V –образный и соответственно сменить предлагаемый прототип). В зависимости от выбранной схемы по-разному проводится уравнивание двигателя. В расчетно-пояснительной записке подробно объясняется необходимость демпфирования крутильных колебаний. Если какой-нибудь из разделов проекта рассматривается в большем объеме, то рекомендуется провести сокращение по другим разделам. При этом студенты используют учебные компьютерные программы (разработанные на кафедре) для проведения расчетов, построения графиков и эскизных проектов деталей, а также узлов двигателей. В приложении к учебному пособию приводится алгоритм, по которому разработана программа динамического расчета кривошипно-шатунного механизма поршневого двигателя. Кроме того, приведенные зависимости позволяют проводить расчеты по стандартным программам на ПЭВМ без привлечения сложных компьютерных программ.

По результатам выполненной работы студенты представляют расчетно-пояснительную записку и чертежи (4-5 листов формата A1) с графическим оформлением исследований кинематических и динамических особенностей проектируемого двигателя.

Ход выполнения курсового проекта учитывается при подведении итогов рейтинга: 1 и 2 рейтинги – по 2 листа графической части и расчетно-пояснительная записка к ним, рейтинг 3 – лист 1 и полностью выполненная расчетно-пояснительная записка.

Курсовые проекты защищаются в специальной комиссии, состоящей из двух-трех преподавателей кафедры при обязательном участии руководителя курсового проектирования и в присутствии студентов группы. Вопросы могут задавать все присутствующие на защите.

Задания для проведения текущего контроля

Задание 1.

1. Какой путь проходит поршень при повороте кривошипа на угол 90° , если радиус кривошипа $r=60$ мм; длина шатуна $l=215$ мм. Чем это можно объяснить?
2. Масса шатуна составляет 0,850 кг. Длина шатуна $l=165$ мм, а расстояние от центра масс до оси поршневой головки равно $l_1=132$ мм. Если центр масс шатуна сместить на 5 мм ближе к поршневой головке, что при этом изменится? Объясните расчетом.

Задание 2.

1. При каком угле поворота кривошипа поршень достигает максимальной скорости, если радиус кривошипа $r=60$ мм; длина шатуна $l=215$ мм. Чем это можно объяснить?
2. Масса шатуна составляет 0,750 кг., а масса, отнесенная к оси поршневого пальца – 0,150 кг. Длина шатуна $l=145$ мм. Если центр масс шатуна сместить на 5 мм ближе к поршневой головке, что при этом изменится? Объясните расчетом.

Задание 3.

1. Радиус кривошипа $r=60$ мм; длина шатуна $l=215$ мм, коленчатый вал вращается с частотой $n=2200$ мин⁻¹. Найти значение максимального ускорения поршня в ВМТ и НМТ. Если они отличаются, то от чего это зависит?
2. Чем объяснить, что к поршневой головке приводится не более 30 % массы шатуна? Что изменится, если мы увеличим это соотношение до 50 %? На что повлияет это в первую очередь?

Задание 4.

1. Радиус кривошипа $r=60$ мм; длина шатуна $l=215$ мм, коленчатый вал вращается с частотой $n=2200$ мин⁻¹. Как изменится угловое перемещение, скорость и ускорение качания шатуна, если длина шатуна уменьшится на 15 мм?
2. Найти для КШМ, имеющего относительный дезаксаж $k=0,20$, $r=46$ мм, длину шатуна $l=155$ мм, разницу в ходе поршня, скорости и ускорении его центрального КШМ, если $n=4800$ мин⁻¹?

Задание 5.

1. Найти для КШМ, имеющего относительный дезаксаж $k=0,20$, $r=46$ мм, длину шатуна $l=155$ мм, максимальное угловое отклонение шатуна при ходе поршня к НМТ и наоборот?

Задание 6.

1. Масса шатуна составляет 0,950 кг. Длина шатуна $l=185$ мм, а расстояние от центра масс до оси поршневой головки равно $l_1=148$ мм. Если центр масс шатуна сместить на 5 мм ближе к поршневой головке, что при этом изменится? Объясните расчетом.

Задание 7.

1. Радиус кривошипа $r=60$ мм; длина шатуна $l=215$ мм, коленчатый вал вращается с частотой $n=2000$ мин⁻¹. Как изменится угловое перемещение, скорость и ускорение качания шатуна, если длина шатуна уменьшится на 10 мм?

Задание 8.

1. Радиус кривошипа $r=60$ мм; длина шатуна $l=215$ мм, коленчатый вал вращается с частотой $n=2000$ мин⁻¹. Как изменится перемещение, скорость и ускорение поршня, если длина шатуна уменьшить на 10 мм?

2. При повороте кривошипа на угол 90° какой путь проходит поршень, если радиус кривошипа $r=60$ мм; длина шатуна $l=225$ мм. Чем это можно объяснить?

Задание 9.

1. Масса шатуна составляет 0,750 кг., а масса его отнесенная к оси поршневого пальца 0,150 кг. Длина шатуна $l=145$ мм. Если центр масс шатуна сместить на 5 мм ближе к кривошипной головке, что при этом изменится? Объясните расчетом.
2. Радиус кривошипа $r=60$ мм; длина шатуна $l=215$ мм, коленчатый вал вращается с частотой $n=2200$ мин⁻¹. Найти значение максимального ускорения поршня в ВМТ и НМТ. Если они отличаются, то от чего это зависит?

Задание 10.

1. Радиус кривошипа $r=60$ мм; длина шатуна $l=215$ мм, коленчатый вал вращается с частотой $n=2000$ мин⁻¹. Как изменится угловое перемещение, скорость и ускорение качания шатуна, если длина шатуна увеличить на 10 мм?
2. При каком угле поворота кривошипа поршень достигает максимальной скорости, если радиус кривошипа $r=70$ мм; длина шатуна $l=225$ мм. Чем это можно объяснить?

Задание 11.

1. Масса шатуна составляет 0,950 кг. Длина шатуна $l=185$ мм, а расстояние от центра масс до оси поршневой головки равно $l_1=148$ мм. Если центр масс шатуна сместить на 5 мм ближе к кривошипной головке, что при этом изменится? Объясните расчетом.

Задание 12.

2. Радиус кривошипа $r=60$ мм; длина шатуна $l=215$ мм, коленчатый вал вращается с частотой $n=2000$ мин⁻¹. Как изменится угловое перемещение, скорость и ускорение качания шатуна, если длина шатуна увеличится на 10 мм?

Кроме того, рассматриваются методы решения некоторых задач, которые приходится студентам решать в ходе выполнения курсового проекта, особенно те из разделов, которые вызывают наибольшее затруднение у студентов. Так, например, особое затруднение вызывает у студентов графики построения сил инерции первого и второго порядков. Для освоения этого материала студенты каждый самостоятельно на ПЭВМ в аудитории кафедры строят эти графики в присутствии преподавателя. Точно также строят графики перемещений, скорости и ускорения поршня.

На практических занятиях проводится пример расчета эквивалентной схемы крутильно-колеблющейся системы кривошипно-шатунного механизма поршневого двигателя.

При изучении сил и моментов студентам выдаются типовые задания для построения набегающих моментов на шатунные и коренные шейки коленчатого вала, а также суммарного индикаторного момента поршневого двигателя.

Примеры заданий приведены ниже.

1. Найти крутящий момент однорядного двухцилиндрового двигателя с кривошипами под углом 180° . Чему равен набегаящий момент на вторую коренную шейку? Радиус кривошипа $r = 0,06$ м.

φ° , пкв	Силы, кН	
	T	K
0	0	-11,501
30	-5,7	-7,280
60	-3,3	-0,927
90	+2,498	-0,736
120	+4,236	-4,112
150	+2,426	-6,051
180	0	-6,376
210	-2,426	-6,376
240	-4,236	-4,112
270	-2,665	-0,788
300	+2,488	-0,708
330	+3,534	-4,489
360	0	-2,402
370	+3,219	+14,156
390	+4,528	+5,750
420	+3,200	+0,907
450	+6,008	-1,772
480	+5,879	-5,712
510	+2,956	-7,374
540	0	-7,164
570	-2,498	-6,233
600	-4,351	-4,227
630	-2,655	-0,783
660	+3,114	-0,884
690	+5,631	-7,150
720	0	-11,501

2. Найти крутящий момент однорядного двухцилиндрового двигателя с кривошипами под углом 360° . Чему равен набегаящий момент на вторую коренную шейку? Радиус кривошипа $r=0,05$ м.

φ° , пкв	Силы, кН	
	T	K
0	0	-11,501
30	-5,7	-7,280
60	-3,3	-0,927
90	+2,498	-0,736
120	+4,236	-4,112
150	+2,426	-6,051
180	0	-6,376
210	-2,426	-6,376
240	-4,236	-4,112
270	-2,665	-0,788
300	+2,488	-0,708
330	+3,534	-4,489
360	0	-2,402
370	+3,219	+14,156
390	+4,528	+5,750
420	+3,200	+0,907
450	+6,008	-1,772
480	+5,879	-5,712
510	+2,956	-7,374
540	0	-7,164
570	-2,498	-6,233
600	-4,351	-4,227
630	-2,655	-0,783
660	+3,114	-0,884
690	+5,631	-7,150
720	0	-11,501

3. Найти крутящий момент однорядного трехцилиндрового двигателя с порядком работы цилиндров 1-3-2. Чему равен набегающий момент на третью коренную шейку? Радиус кривошипа $r=0,07$ м.

φ° , ПКВ	Силы, кН	
	T	K
0	0	-11,501
30	-5,7	-7,280
60	-3,3	-0,927
90	+2,498	-0,736
120	+4,236	-4,112
150	+2,426	-6,051
180	0	-6,376
210	-2,426	-6,376
240	-4,236	-4,112
270	-2,665	-0,788
300	+2,488	-0,708
330	+3,534	-4,489
360	0	-2,402
370	+3,219	+14,156
390	+4,528	+5,750
420	+3,200	+0,907
450	+6,008	-1,772
480	+5,879	-5,712
510	+2,956	-7,374
540	0	-7,164
570	-2,498	-6,233
600	-4,351	-4,227
630	-2,655	-0,783
660	+3,114	-0,884
690	+5,631	-7,150
720	0	-11,501

4. Найти крутящий момент однорядного трехцилиндрового двигателя с порядком работы цилиндров 1-2-3 . Чему равен набегающий момент на третью коренную шейку? Радиус кривошипа $r=0,06$ м.

φ° , ПКВ	Силы, кН	
	T	K
0	0	-11,501
30	-5,7	-7,280
60	-3,3	-0,927
90	+2,498	-0,736
120	+4,236	-4,112
150	+2,426	-6,051
180	0	-6,376
210	-2,426	-6,376
240	-4,236	-4,112
270	-2,665	-0,788
300	+2,488	-0,708
330	+3,534	-4,489
360	0	-2,402
370	+3,219	+14,156
390	+4,528	+5,750
420	+3,200	+0,907
450	+6,008	-1,772
480	+5,879	-5,712
510	+2,956	-7,374
540	0	-7,164
570	-2,498	-6,233
600	-4,351	-4,227
630	-2,655	-0,783
660	+3,114	-0,884
690	+5,631	-7,150
720	0	-11,501

5. Найти крутящий момент однорядного четырехцилиндрового двигателя с порядком работы цилиндров 1-4-2-3. Чему равен набегающий момент на вторую коренную шейку? Нарисовать схему коленчатого вала. Радиус кривошипа $r=0,07$ м.

φ° , пкв	Силы, кН	
	T	K
0	0	-11,501
30	-5,7	-7,280
60	-3,3	-0,927
90	+2,498	-0,736
120	+4,236	-4,112
150	+2,426	-6,051
180	0	-6,376
210	-2,426	-6,376
240	-4,236	-4,112
270	-2,665	-0,788
300	+2,488	-0,708
330	+3,534	-4,489
360	0	-2,402
370	+3,219	+14,156
390	+4,528	+5,750
420	+3,200	+0,907
450	+6,008	-1,772
480	+5,879	-5,712
510	+2,956	-7,374
540	0	-7,164
570	-2,498	-6,233
600	-4,351	-4,227
630	-2,655	-0,783
660	+3,114	-0,884
690	+5,631	-7,150
720	0	-11,501

6. Найти крутящий момент однорядного четырехцилиндрового двигателя с порядком работы цилиндров 1-4-3-2. Чему равен набегающий момент на четвертую коренную шейку? Радиус кривошипа $r=0,08$ м.

φ° , пкв	Силы, кН	
	T	K
0	0	-11,501
30	-5,7	-7,280
60	-3,3	-0,927
90	+2,498	-0,736
120	+4,236	-4,112
150	+2,426	-6,051
180	0	-6,376
210	-2,426	-6,376
240	-4,236	-4,112
270	-2,665	-0,788
300	+2,488	-0,708
330	+3,534	-4,489
360	0	-2,402
370	+3,219	+14,156
390	+4,528	+5,750
420	+3,200	+0,907
450	+6,008	-1,772
480	+5,879	-5,712
510	+2,956	-7,374
540	0	-7,164
570	-2,498	-6,233
600	-4,351	-4,227
630	-2,655	-0,783
660	+3,114	-0,884
690	+5,631	-7,150
720	0	-11,501

Текущий контроль и промежуточная аттестация уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине проводится в соответствии с «Фондом оценочных средств».

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформлен отдельным документом.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
Основная литература*			
1. Гоц А.Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей: учебное пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ: инфра-м, 2015. – 384 с.	2015	10	-
2. Гоц, А. Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей: учебное пособие /А.Н. Гоц; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Изд. 2-е изд., испр. и доп. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2014. – 142 с.	2014	51	-
3. Гоц, А. Н. Динамика двигателей. Курсовое проектирование: учеб. пособие / А. Н. Гоц;– 2-е изд., испр. и доп., – М.: ФОРУМ: инфра-м, 2013. – 160 с	2013	10	-
4. Гоц, А. Н. Крутильные колебания коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей / А.Н. Гоц. – 2-е изд., испр. и доп., – М.: ФОРУМ: инфра-м, 2016. – 208 с.	2016	5	-
Дополнительная литература			
1. 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.	2005	5	-
2. Панов, В. В. Динамика двигателей внутреннего сгорания: метод. указания к лабораторным работам /В.В. Панов, С.Г. Драгомиров, А.Н. Гоц, А.М. Шарпов. – Владимир: Влад гос. ун-т, 2003. – 60 с.	2003	30	-
3. Гоц, А. Н. Анализ уравновешенности и методы уравновешивания автомобильных и тракторных двигателей / А.Н. Гоц; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 124 с.	2007	30	-

7.2. Периодические издания

1. Журнал «Современные наукоемкие технологии». Москва, 105037, а/я 47, АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ, <http://www.top-technologies.ru/>
2. Журнал «Тракторы и сельхозмашины». <https://mospolytech.ru/index.php?id=4474>

7.3. Интернет-ресурсы

1. Программный комплекс «Diesel RK». Бесплатный удаленный доступ к системе ДИЗЕЛЬ-РК <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=Vozmojnosti>.

2. Перечень литературы по кинематике и динамике ДВС :
<http://www.twirpx.com/files/transport/dvs/cindyn/> ; <http://vlgu.info/files/details.php?file=27>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для выполнения самостоятельных работ, курсового проекта и при проведении практических занятий используются ПК в компьютерной классе кафедры (ауд. 394-2). Используются программы Mathcad 12, MATLAB, а также программы, разработанные на кафедре.

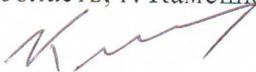
Рабочую программу составил
Профессор кафедры ТД и ЭУ,
д.т.н.



А.Н. Гоц

Рецензент

(представитель работодателя) специалист по сертификации АО «Камешковский механический завод», Владимирская область, г. Камешково,
д.т.н.

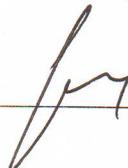


А.Р. Кульчицкий

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры тепловые двигатели и энергетические установки

Протокол № 1 от 30.08.2019 года

Заведующий кафедрой



В.Ф. Гуськов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Протокол № 1 от 30.08.2019 года

Председатель комиссии



В.Ф. Гуськов

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа одобрена на 2015/16 учебный год

Протокол заседания кафедры № 20/ от 17.02.15 года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 2016/17 учебный год

Протокол заседания кафедры № 3 от 13.09.16 года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 2017/2018 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 05.09.17 года

Заведующий кафедрой _____

В.Ф. Гуськов

Рабочая программа одобрена на 2018/2019 учебный год

Протокол заседания кафедры № 24 от 10.09.2018 года

Заведующий кафедрой _____

В.Ф. Гуськов

Рабочая программа одобрена на 2019/2020 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 03.09.2019 года

Заведующий кафедрой _____

В.Ф. Гуськов

Рабочая программа одобрена на 2020/2021 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.20 года

Заведующий кафедрой _____

В.Ф. Гуськов

Рабочая программа одобрена на _____ учебный год

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины

«Динамика двигателей»

образовательной программы направления подготовки 13.03.03 энергетическое машиностроение, направленность: двигатели внутреннего сгорания, уровень подготовки – бакалавриат

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Зав. кафедрой _____ / В.Ф. Гуськов
Подпись *ФИО*