

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

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

Кафедра Тепловые двигатели и энергетические установки

Методические рекомендации к самостоятельной работе

по дисциплине «Агрегаты наддува»

для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению 13.03.03 -
Энергомашиностроение
(бакалаврат)

Владимир 2016

Общие рекомендации к самостоятельной работе по дисциплине «АГРЕГАТЫ НАДДУВА»

Самостоятельная проработка материала по темам дисциплины осуществляется по конспекту, учебникам (учебным пособиям) и другим источникам, приведенным в списке (в конце конспекта), в соответствии со ссылками.

Целью самостоятельной работы является:

- более глубокое изучение лекционного материала;
- подготовка к практическим и лабораторным занятиям;
- выполнение курсового проекта;
- получение навыков самостоятельного изучения необходимого материала по темам дисциплины.

Для самоконтроля к каждой теме (разделу) приведены вопросы.

1. Повышение литровой мощности поршневых двигателей (лекции 1-2)

Основное внимание обратить на анализ преимуществ и недостатков различных способов повышения литровой мощности поршневого двигателя и агрегатов, применяемых для увеличения плотности заряда на впуске. Усвоить основные понятия и параметры в соответствии с изучаемой темой.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимается под форсированием поршневых двигателей?
2. Напишите уравнение для литровой мощности поршневого двигателя.
3. Назовите способы форсирования поршневых двигателей.
4. Проблемы, возникающие при переходе с четырёхтактного на двухтактный цикл.
5. Преимущества и недостатки форсирования поршневых двигателей по номинальной частоте вращения коленчатого вала.
6. Что называется наддувом?
7. Перечислите способы наддува поршневых двигателей.
8. Факторы, влияющие на плотность воздуха во впускном ресивере.
9. Недостатки привода нагнетателя от коленчатого вала.
10. Преимущества газотурбинного наддува (турбонаддува).
11. Почему в двигателях с наддувом принимаю повышенные значения коэффициента избытка воздуха?

12. Что называется коэффициентом наполнения и факторы, влияющие на его величину?
13. Почему при наддуве повышается мощность двигателя?
14. Какие факторы ограничивают увеличение литровой мощности двигателя с помощью турбонаддува?

2. Без агрегатный (газодинамический) наддув. Инерционно-волновой наддув (лекция 3)

При изучении этой темы обратить внимание на газодинамические процессы, которые используются для повышения давления воздуха во впускном трубопроводе при скоростном наддуве и инерционно-волновом наддуве. Почему последний называют также инерционно-резонансным? Проанализировать области целесообразного применения газодинамического наддува.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие процессы используются при газодинамическом наддуве?
2. Основные способы газодинамического наддува.
3. Условия, обеспечивающие эффективность скоростного наддува.
4. Условия целесообразного применения инерционного наддува.
5. Преимущества и недостатки газодинамического наддува.
6. Что понимается под настройкой впускной системы?
7. Почему при газодинамическом наддуве давление в цилиндре в начале сжатия выше, чем без наддува?

3. Приводной (механический) наддув (лекции 4-6)

При изучении этого раздела обратить внимание на различный принцип действия объемных и центробежных нагнетателей. Проанализировать преимущества и недостатки приводного наддува. Почему приводной наддув в настоящее время применяется редко?

Вопросы для самоконтроля

1. Почему механический наддув позволяет увеличить литровую мощность двигателя?
2. Почему при механическом наддуве увеличивается удельный расход топлива?
3. Какие агрегаты наддува применяются для механического наддува?
4. Принцип действия и конструкция нагнетателей Рутс.
5. Преимущества и недостатки нагнетателей Рутс.

6. Особенности характеристики нагнетателя Рутс.
7. Принцип действия и конструкция Ro-нагнетателей.
8. Принцип действия и конструкция нагнетателей Pierburg.
9. Принцип действия и конструкция винтовых нагнетателей.
10. Преимущества и недостатки винтовых нагнетателей.
11. Принцип действия и конструкция спиральных нагнетателей.
12. Технические данные, преимущества и недостатки спиральных нагнетателей.
13. Технические характеристики центробежных компрессоров.
14. Особенности привода центробежного компрессора, встроенного в поршневой двигатель.
15. Особенности привода центробежного компрессора, выполненного в виде отдельного агрегата.
16. Перспективы развития механического наддува.

4. Наддув волновыми обменниками давления

(лекция 7)

Наддув с помощью волнового обменника давления (ВОД) занимает промежуточное место между газодинамическим и приводным наддувом, так как в нем используются волновые явления и имеется агрегат с приводом от коленчатого вала. При изучении этой темы особое внимание уделить принципу действия ВОД и причины, по которым он пока не получил широкого применения.

Вопросы для самоконтроля

1. Конструкция и принцип действия волнового обменника давления.
2. Где происходит передача энергии от газа к воздуху?
3. Когда канал в барабане соединяется с впускным трубопроводом?
4. Когда отсоединяется выпускной трубопровод от канала в барабане?
5. Когда и почему канал в барабане заполняется воздухом?
6. Преимущества и недостатки ВОД.

5. Газотурбинный наддув

(лекции 8-9)

Рассмотрение пятого раздела рекомендуется начать с термодинамических циклов в поршневом двигателе и турбокомпрессоре. Понять, почему энергию отработавших в цилиндре продуктов сгорания, целесообразнее использовать в турбине. Изучить виды

газотурбинного наддува, основные понятия и параметры. Критически подойти к анализу преимуществ и недостатков турбонаддува.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем отличается газотурбинный наддув от механического наддува?
2. Из каких основных узлов состоит турбокомпрессор?
3. Нарисуйте термодинамические циклы в цилиндре и турбокомпрессоре.
4. Какие параметры характеризуют качество термодинамических циклов?
5. Способы подвода теплоты к рабочему телу в турбокомпрессоре.
6. Опишите процессы газообмена в цилиндре и трубопроводах.
7. Что такое «помпаж» и условия его появления?
8. Виды газотурбинного наддува.
9. Особенности импульсного наддува.
10. Особенности изобарного наддува.
11. Особенности наддува с переменным давлением газа перед турбиной?
12. Основные параметры и показатели турбонаддува.
13. Что представляют ряды турбокомпрессоров?
14. Типы турбин, используемых в турбокомпрессорах, и их маркировка.
15. Преимущества и недостатки газотурбинного наддува (по сравнению с механическим наддувом).

6. Центробежные компрессоры

(лекции 10-11)

Изучение раздела **Центробежные компрессоры** имеет целью добиться понимания принципа действия и способов повышения его производительности и напорности. Особое внимание обратить на планы скоростей, их связь с КПД компрессора. Иметь четкое представление о характеристиках компрессора, методах их получения и использования при согласовании с расходными характеристиками поршневого двигателя. Усвоить методику расчета компрессора. Выполнить расчет компрессора и построить планы скоростей в курсовом проекте.

Вопросы для самоконтроля

1. Конструкция центробежного компрессора.
2. Принцип действия центробежного компрессора.
3. План скоростей на входе в рабочее колесо.
4. План скоростей на выходе из рабочего колеса.
5. Основные проекции абсолютной скорости.

6. Диаграмма процесса сжатия в компрессоре в координатах $i-S$.
7. Удельная адиабатная работа сжатия идеального газа в компрессоре.
8. Что учитывается в параметрах заторможенного потока газа?
9. Особенности политропного процесса сжатия воздуха в компрессоре.
10. Назовите основные виды потерь напора при сжатии воздуха в компрессоре.
11. Степень повышения давления в компрессоре.
12. Адиабатный КПД компрессора.
13. Политропный КПД компрессора.
14. Что характеризует коэффициент напора?
15. Типы входных патрубков в компрессорах.
16. Типы рабочих колёс, для центробежного компрессора.
17. Формы лопаток рабочего колеса на выходе.
18. Движение воздуха в рабочем колесе компрессора.
19. Для чего на колесе устанавливают дополнительные лопатки?
20. Коэффициент циркуляции.
21. «Эйлерова работа» в компрессоре.
22. Структура уравнения для работы на привод компрессора.
23. Движение воздуха в безлопаточном диффузоре.
24. Движение воздуха в лопаточном диффузоре.
25. Движение воздуха в улитке.
26. Описать зависимость степени повышения давления от объёмного расхода воздуха через компрессор.
28. Что представляет собой характеристика компрессора?
29. Построение универсальной характеристики компрессора.

7. Турбины агрегатов наддува

(лекции 12-13)

Самостоятельная проработка раздела «турбины агрегатов наддува» имеет целью добиться понимания принципа действия и способов повышения мощности турбины, необходимой для привода компрессора. Особое внимание обратить на планы скоростей, их связь с КПД турбины. Иметь четкое представление о характеристиках турбины и методах их получения. Усвоить методику расчета радиально-осевой турбины. Выполнить расчет радиально-осевой турбины и построить планы скоростей в курсовом проекте.

Вопросы для самоконтроля

1. Назначение турбины в составе агрегата наддува.

2. Основные элементы турбины.
3. Какие типы турбин применяются в турбокомпрессорах?
4. Преимущества радиально-осевых турбин.
5. Диаграмма расширения газа в турбине в координатах $i-S$.
6. Уравнение для удельной политропной работы расширения газа в турбине (по статическим параметрам).
7. Уравнение для удельной адиабатной работы расширения газа в турбине (по параметрам заторможенного потока).
8. Что называется степенью понижения давления газа в турбине?
9. Что называется степенью реактивности турбины?
10. Какие турбины называются активными, а какие реактивными?
11. Что характеризует коэффициент напора в турбине?
12. Что характеризует параметр «пропускная способность турбины» и как он определяется?
13. Что характеризует адиабатный КПД турбины?
14. Что характеризует эффективный КПД турбины?
15. Уравнение для определения мощности турбины.
16. Особенности конструкции осевой турбины и область эффективности её применения.
17. Движение газа в осевой турбине.
18. Особенности конструкции радиально-осевых турбин.
19. Принцип действия радиально-осевых турбин.
20. Чем лимитируется величина температуры газов перед турбиной?
21. Планы скоростей на входе в рабочее колесо турбины.
22. Планы скоростей на выходе из рабочего колеса турбины.
23. Типы газоподводящих устройств (входных улиток).
24. Давление и температура газа на входе в рабочее колесо турбины.
25. Движение газа в каналах лопаточного соплового аппарата.
26. Назовите основные виды потерь напора в турбине?
27. Расчет мощности турбины.
28. Зависимость КПД турбины от отношения u_3 / c_3 .
29. Методика построения характеристики турбины.
30. Особенности универсальной характеристики турбины.

8. Совместная работа турбины, компрессора и поршневого двигателя

(лекция 14)

Согласование совместной работы турбокомпрессора и поршневого двигателя достаточно трудоемкий процесс. При изучении этой темы важно понять последовательность согласования. Оно начинается при производстве турбокомпрессора с совмещения экспериментальных характеристик турбины и компрессора. Согласование совместной работы турбокомпрессора и поршневого двигателя выполняется совмещением их расходных характеристик. Студент на практических занятиях и в процессе самостоятельной подготовки должен усвоить методику совмещения характеристик компрессора и поршневого двигателя для двух режимов: номинального и максимального крутящего момента, а затем реализовать ее при выполнении курсового проекта.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется характеристикой компрессора?
2. Что называется характеристикой турбины?
3. Последовательность совмещения характеристик компрессора и турбины.
4. Для чего параметры компрессора и турбины приводят к стандартным условиям?
5. Методы приведения параметров компрессора и турбины к стандартным условиям?
6. Какая характеристика турбины или компрессора является предпочтительной для согласования совместной работы поршневого двигателя и турбокомпрессора?
7. Почему объём впускного трубопровода оказывает существенное влияние на совместную работу двигателя и турбокомпрессора?
8. Методы борьбы с помпажем.
9. Для чего универсальную характеристику аппроксимируют полиномом $(G_{kx} / \eta_{kx}) = f(G_k, \pi_k)$?
10. Что представляет «запас по помпажу»?
11. Для каких режимов согласуют совместную работу двигателя и турбокомпрессора?
12. Какие режимы работы двигателя ограничивают поле согласования с характеристикой компрессора?

9. Охлаждение воздуха после компрессора

(лекция 15)

При изучении этой темы студент должен понять условия, при которых возникает необходимость охлаждения воздуха, выходящего из компрессора. Ознакомиться с

теплообменниками, которые используются в системах наддува двигателей и требованиями к ним.

Вопросы для самоконтроля

1. Почему целесообразно охлаждать воздух после компрессора?
2. Способы охлаждения надувочного воздуха.
3. Классификация систем охлаждения надувочного воздуха.
4. Типы применяемых теплообменников.
5. Причины, усложняющие применение ОНВ.
6. Почему не применяются испарительные системы ОНВ?

10. Регулирование наддува

(лекции 16-17)

Самостоятельное изучение этой темы целесообразно начать с уяснения причин обуславливающих необходимость регулирования наддува и его преимущества. Затем, изучить способы регулирования компрессора: дросселирование, изменение угла потока на входе, поворот лопаток диффузора, поворот лопаток входного направляющего аппарата, регулирование перепуском воздуха и др.

Изучить способы регулирования турбины: дросселирование на входе, изменение степени парциальности соплового аппарата, байпасирование (перепуск газов минуя турбину), регулирование соплового аппарата поворотом его лопаток. Проанализировать критически все способы регулирования наддува и выбрать целесообразный для реализации в курсовом проекте.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова цель регулирования наддува?
2. Проблемы, возникающие при наддуве поршневых двигателей.
3. Какие параметры наддува необходимо регулировать при переходе с расчётного на другой режим работы двигателя?
4. Назовите основные способы регулирования наддува.
5. Схема газовых связей между поршневым двигателем и турбокомпрессором.
6. Способы регулирования наддува со стороны компрессора.
7. Способы регулирования наддува со стороны турбины.
8. Преимущества и недостатки регулирования наддува дроссельной заслонкой на входе в компрессор.
9. Принцип регулирования наддува поворотом лопаток во ВНА.

10. Регулирование наддува поворотом лопаток в диффузоре.
11. Принцип действия устройства для перепуска газа минуя турбину.
12. Принцип регулирования наддува изменением парциальности подвода газа к колесу турбины.
13. Какие параметры потока газа изменяются при повороте лопаток соплового аппарата?
14. Преимущества регулирования наддува поворотом лопаток СА.
15. Особенности СА со скользящими лопатками.
16. Какие исполнительные механизмы применяются в системах регулирования наддува.

11. Перспективы наддува

(лекция 18)

Ознакомьтесь с оригинальными конструкциями агрегатов наддува (имеющимися в наличии).

Список рекомендуемой литературы

Основная литература.

1. *Гаврилов А.А.* Агрегаты наддува. Конспект лекций (рукопись)
2. *Гаврилов А.А.* Проектирование турбокомпрессоров для наддува поршневых двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / А.А. Гаврилов, М.С. Игнатов; Владим. гос. ун-т.-Владимир; Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009.-88с.-ISBN 978-5-9984-0003-2
3. Агрегаты воздухообеспечения комбинированных двигателей/ Д.А. Дехович, Г.И. Иванов, М.Г. Круглов и др. / Под ред. М.Г. Круглова.- М.: Машиностроение, 1973. – 298 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания. Т. IV-14/ Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др.; Под общ. Ред. А.А. Александрова, Н.А. Иващенко. М.: Машиностроение, 2013.-784 с.

Дополнительная литература

1. Автомобильные двигатели с турбонаддувом / Н.С. Ханин, Э.В. Аболтин, Б.Ф. Лямцев, Е.Н. Зайченко, Л.С. Аршинов.- М.: Машиностроение, 1991.- 336 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина. – М.: Машиностроение, 1980. – 390 с.

3. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.

4. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов [Текст]: Учебник для вузов / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.; Под ред. В.Н. Луканина. -2-е изд., перераб. и доп.-М.: Высшая школа, 2005.-479с.:ил.- ISBN 5-06-004142-5.

5. *Гаврилов А.А.* Импульсная система наддува четырехтактных малоцилиндровых дизелей / А.А. Гаврилов, В.В. Эфрос // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997, № 10. – С. 16-18, № 11. – С.24-27.

6. *Гаврилов А.А.* Определение текущего расхода воздуха в двигателях с турбонаддувом с использованием характеристики компрессора // Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС: Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2001. – С.41-45.

7. *Гаврилов А.А.* Расчет газодинамических параметров турбокомпрессора для наддува поршневых двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие / А.А. Гаврилов, А.Ю. Абаляев // Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2001. – 60 с.

8. *Гаврилов А.А.* Аппроксимация универсальной характеристики компрессора в математической модели цикла ДВС / А.А. Гаврилов, В.М. Лазарев, Н.А. Шарапов, В.В. Эфрос / Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей. Материалы XII Международной науч.-практ. конференции. – Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2010. – С.100-104.

9. *Гаврилов А.А.* Модель турбонаддува в цикле двигателя с переменным давлением воздуха на впуске / А.А. Гаврилов, А.Н. Гоц // Фундаментальные исследования , №8 (часть 1), 2013. .С. 24-28. – Библиогр. 28. ISSN 1817-7339.

10. *Крутов В.И.* Регулирование турбонаддува ДВС: Учебное пособие для ВУЗов / В.И. Крутов, А.Г. Рыбальченко. – М.: Вышш. Школа, 1978. – 213 с.

11. *Лямцев Б.Ф.* Турбокомпрессоры для наддува двигателей внутреннего сгорания / Б.Ф. Лямцев, Л.Б. Микеров // Теория, конструкция и расчет [Текст]: Учебное пособие / Яросл. Гос. Техн. Ун-т. – Ярославль, 1995. – 132 с.

12. *Патрахальцев Н.Н.* Наддув двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 319 с.: ил. – ISBN 5-209-01501-7.

13. *Патрахальцев Н.Н.* Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом / Н.Н. Патрахальцев, А.А. Савастенко // [Текст]: – М.: Легион-Автодата, 2007. – 176 с.: ил.

14. *Портнов Д.А.* Быстроходные турбопоршневые двигатели с воспламенением от сжатия. М.: Машгиз, 1963. – 640 с.

15. Русинов Р.В. Инерционно-резонансный наддув плршневых двигателей/ Р.В. Русинов, Г.П. Поршневу, И.М. Герасимов, А.Г. Семенов // Двигателестроение, № 2, 2002.- С. 13-16.
16. Симсон А.Э. Газотурбинный наддув дизелей.- М.: Машиностроение, 1964.- 248 с.
17. Системы управления дизельными двигателями. Пер. с нем. 1-е русское изд. [Текст]. – М.:ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004.-480 с. (29е)
- 18.Теория и расчет турбокомпрессоров: Учебное пособие для студентов вузов/ К.П. Селезнев, Ю.А. Галеркин, В.П. Митрофанов и др.; Под ред. К.П. Селезнева. – Л.: Машиностроение, 1986. – 392 с.
19. Турбокомпрессоры для наддува дизелей: Справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1975. – 200 с.
19. *Хак Г.* Турбодвигатели и компрессоры: справ. пособие / Г. Хак, Лангкабель. – М.: ООО “Издательство Астрель”: ООО “Издательство АСТ”, 2003. – 351 с.
20. *Циннер К.* Наддув двигателей внутреннего сгорания: Перевод с немецкого/Под ред. д-ра техн. наук Н.Н. Иванченко. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – 264с.
21. Электронно-поддерживаемый наддув [Текст]: Автостроение за рубежом.-2004, май.- С.12-14.-ISSN 1684-7725. (39е)
22. Adjustable Turbocharger. Design and Function [Text] / Self-Study Programme №190. - Wolfsburg: Service Department VOLKSWAGEN AG, 1996.-32p. (31е)
23. Automotive EngineeringInternational. April 2002. Warrendate, PA:
24. Dieter Neyer, Richard Dorenkamp, Pol Rottenkolber; 25 Jahre Dieselmotoren bei Volkswagen [Текст].- MTZ-2001, май. (26е)
25. Hoecker, P.; Pflugler, F.; Jaisle, J. W.; Munz, S. Moderne Aufladekonzepte fur PKW Dieselmotoren 7. Aufladetechnische Konferenz, Dresden, 28. – 29.
26. Parallel-sequenzielle Bi-Turboaufladung. [Text]. MTZ.-2006,september.-P.606-614.- ISSN 0024-8525 10814. (41е)
27. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines.- Third Edition. Warrendale, PA: SAE International, 1999.- 641 p.
28. Turbocharger aftermarket Honeywell-Garrett. Garrett variable geometry turbochargers [Text]: -Cheshire: Honeywell U.K. LTD, 2003.-32p. (30е)
29. Каталог ТКР [Электронный ресурс]. – Режим доступа к статье <http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/products/catalog.html> (28е)

30. How does Variable Turbine Geometry work? [Электронный ресурс]. – Режим доступа к статье <http://paultan.org/archives/2006/08/16/how-does-variable-turbine-geometry-work/>. (32е)

31. September 2000. [Электронный ресурс].- Режим доступа к статье <http://www.turbos.bwauto.com/service/default.aspx?doctype=12>. (33е)

32. *Гаврилов А.А.* Влияние внешних факторов на давление рабочего тела в цикле поршневого двигателя./ А.А. Гаврилов, А.Н. Гоц// Материалы V-ой Украинской науч. техн. конференции с междунар. участием.- Первомайск, 2013.- С. 52-59.

33. Теория двигателей внутреннего сгорания. Рабочие процессы . / Под ред. проф. Н.Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1974. – 550 с.

34. *Гоц А.Н.* Моделирование внешних скоростных характеристик двигателей на стадии проектирования / А.Н. Гоц, А.А. Гаврилов // Тракторы и сельскохозяйственные машины.– 2003, № 8. –С. 31-36.