Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 13.08.2026 10:18:29
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Транспортный факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
/М.Р. Рыбакова/
«26» февраля 2026 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Направление подготовки/ специальность
13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

Профиль/ специализация
Поршневые двигатели и турбомашины

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва, 2026

Разработчик(и):
к.т.н., профессор /Р.Х. Курмаев/

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики», д.т.н. /Г.Г. Надарейшвили/

Оглавление

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 5
3. Структура и содержание дисциплины 6
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость 6
3.2. Тематический план изучения дисциплины 7
3.3. Содержание дисциплины 8
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 10
3.4.1. Семинарские/практические занятия 10
3.4.2. Лабораторные занятия 10
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 11
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 11
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 11
4.2. Основная литература 12
4.3. Дополнительная литература 12
4.4. Электронные образовательные ресурсы 13
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 13
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 13
5. Материально-техническое обеспечение 14
6. Методические рекомендации 15
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 15
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 16
7. Фонд оценочных средств 16
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения 16
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 19
7.3 Оценочные средства 22

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся теоретических знаний и практических навыков в области анализа, расчёта и проектирования комбинированных энергетических установок, включая гибридные силовые агрегаты, установки с утилизацией теплоты и комбинированные системы на базе поршневых двигателей и турбомашин, а также методов оценки их эффективности и областей применения на пятом этапе сквозного проектирования «Интеграция, эксплуатация, экономика и защита».

Задачами дисциплины являются:

– изучение классификации, принципиальных схем и областей применения комбинированных энергетических установок (КЭУ) различного назначения (транспортных, стационарных, автономных);

– освоение методов термодинамического анализа комбинированных циклов, включая циклы с утилизацией теплоты отработавших газов (газотурбинные надстройки, циклы Ренкина на органических рабочих телах);

– формирование навыков расчёта энергетической эффективности КЭУ, включая определение степени утилизации теплоты, КПД комбинированного цикла и удельных показателей;

– изучение принципов построения и работы гибридных силовых установок (последовательных, параллельных, смешанных схем) с различными типами накопителей энергии;

– приобретение навыков выбора и согласования параметров основных элементов КЭУ (двигателя внутреннего сгорания, турбомашин, электродвигателей, накопителей энергии, теплообменных аппаратов);

– освоение методов оценки экологических показателей КЭУ и их преимуществ по сравнению с традиционными установками;

– изучение современных тенденций развития комбинированных энергоустановок, включая водородные технологии и топливные элементы;

– формирование умения разрабатывать технические предложения по созданию КЭУ для конкретных условий эксплуатации.

В результате освоения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	**ИУК-1.1.** Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие
	ИУК-1.2. Осуществляет поиск, критически оценивает, обобщает, систематизирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи
	ИУК-1.3. Рассматривает и предлагает рациональные варианты решения поставленной задачи, используя системный подход, критически оценивает их достоинства и недостатки
УК-5. Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом,	**ИУК-5.1.** Анализирует и интерпретирует события, современное состояние общества, проявления его межкультурного разнообразия в социально-историческом, этическом и философском контекстах

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
этическом и философском контекстах	**ИУК-5.2.** Осознает систему общечеловеческих ценностей, понимает значение для развития цивилизаций исторического наследия и социокультурных традиций различных социальных групп, этносов и конфессий
	ИУК-5.3. Взаимодействует с людьми с учетом социокультурных особенностей в целях успешного выполнения профессиональных задач и социальной интеграции
УК-9. Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности	**ИУК-9.1.** Понимает базовые принципы функционирования макроэкономики и экономического развития, цели и виды участия государства в экономике
	ИУК-9.2. Представляет основные закономерности функционирования микроэкономики и факторы, обеспечивающие рациональное использование ресурсов и достижение эффективных результатов деятельности
	ИУК-9.3. Применяет методы экономического и финансового планирования для достижения личных финансовых целей, использует адекватные поставленным целям финансовые инструменты управления личным бюджетом, оптимизирует собственные финансовые риски

Роль дисциплины в формировании компетенций:

Расширяющая. Дисциплина формирует представления о гибридных и альтернативных силовых установках, расширяя кругозор в области энергетического машиностроения. Студенты анализируют задачу выбора типа комбинированной установки, выделяя её базовые составляющие (ДВС, электродвигатель, аккумулятор, система управления) (ИУК-1.1); осуществляют поиск и критическую оценку информации о различных схемах гибридизации (последовательная, параллельная, смешанная), типах накопителей энергии, режимах работы (ИУК-1.2); рассматривают и предлагают рациональные варианты комбинированных установок для различных областей применения, используя системный подход и критически оценивая их достоинства и недостатки (ИУК-1.3). В рамках изучения мирового опыта развития гибридных и водородных технологий студенты анализируют социально-исторический контекст развития альтернативной энергетики (ИУК-5.1, ИУК-5.2). При оценке экономической эффективности комбинированных установок осваиваются базовые принципы макро- и микроэкономики, методы экономического и финансового планирования (ИУК-9.1, ИУК-9.2, ИУК-9.3).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина **«Комбинированные энергетические установки»** относится к **части блока Б.1, формируемой участниками образовательных отношений** учебного плана (код дисциплины: Б1.2.20) и изучается в **8-м семестре**.

Данная дисциплина обеспечивает **пятый этап сквозного проекта «Интеграция, эксплуатация, экономика и защита»**, расширяя знания обучающихся в области перспективных направлений развития энергетических установок и формируя компетенции, необходимые для создания энергоэффективных и экологически чистых комбинированных систем на базе поршневых двигателей и турбомашин.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных при освоении следующих дисциплин и курсов:

- **Термодинамика** (Б1.1.17, 3 семестр): знание термодинамических циклов и методов анализа их эффективности является основой для изучения комбинированных установок.
- **Теория рабочих процессов поршневых двигателей** (Б1.1.20, 4 семестр): понимание рабочих процессов ДВС необходимо для анализа их взаимодействия с другими элементами КЭУ.
- **Агрегаты наддува** (Б1.2.7, 6 семестр): знание характеристик турбомашин необходимо для анализа газотурбинных надстроек и комбинированных установок с турбокомпаундированием.
- **Теплообмен и теплообменные аппараты в энергетическом машиностроении** (Б1.2.6, 5 семестр): знание методов расчёта теплообменников необходимо для проектирования систем утилизации теплоты.
- **Электротехника и электроника** (Б1.1.7, 4 семестр) и **Системы электронного управления поршневыми двигателями** (Б1.2.25, 8 семестр): знание основ электротехники необходимо для понимания работы гибридных силовых установок с электроприводом.
- **Конструкция поршневых двигателей** (Б1.2.2, 2 семестр) и **Системы поршневых двигателей** (Б1.2.5, 5 семестр): знание конструкции необходимо для интеграции дополнительных элементов в состав КЭУ.
- **Экология и токсичность поршневых двигателей** (Б1.2.17, 7 семестр): понимание экологических проблем и методов их решения необходимо для оценки преимуществ КЭУ.

Основные положения дисциплины используются в дальнейшем при освоении элементов образовательной программы на завершающем этапе обучения:

- **Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы** (Б3.1, 8 семестр): тематика ВКР может быть связана с разработкой или анализом комбинированных энергетических установок.
- **Интеграция и оформление проектных решений** (Б1.2.19, 8 семестр): результаты проектирования КЭУ могут быть интегрированы в общий проект.
- **Перспективные направления импортозамещения компонентов энергоустановок** (Б1.2.21, 8 семестр): комбинированные установки являются одним из перспективных направлений развития.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **2 зачетные единицы (72 часа)**.

3.1. Виды учебной работы и трудоемкость

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			8
1	Аудиторные занятия	30	30
	В том числе:		
1.1	Лекции	10	10
1.2	Семинарские/практические занятия	10	10

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
1.3	Лабораторные занятия	10	10
2	Самостоятельная работа	42	42
3	Промежуточная аттестация		
	Зачет/диф.зачет/экзамен	Зачет	Зачет
	Итого	**72**	**72**

3.2. Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
Семестр 8	**Комбинированные энергетические установки**						
1	Тема 1. Введение. Причины развития комбинированных энергоустановок	6	2	2	–	–	4
2	Тема 2. Классификация гибридных силовых установок (ГСУ)	8	4	2	2	–	4
3	Тема 3. Компоненты гибридных силовых установок	12	6	2	2	2	6

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
4	Тема 4. Схемы и режимы работы гибридных установок	12	6	2	2	2	6
5	Тема 5. Управление гибридными силовыми установками	10	4	2	2	–	6
6	Тема 6. Комбинированные установки на базе газотурбинных двигателей	8	4	–	2	2	4
7	Тема 7. Энергоустановки на топливных элементах	8	4	–	2	2	4
8	Тема 8. Экономическая эффективность и перспективы развития	8	4	–	–	4	4
9	Подготовка к зачёту	–	–	–	–	–	–
	Итого за 1 семестр	**72**	**30**	**10**	**10**	**10**	**42**

3.3. Содержание дисциплины

Семестр 8. Комбинированные энергетические установки

Тема 1. Введение. Причины развития комбинированных энергоустановок

Экологические и экономические предпосылки развития комбинированных энергоустановок. Ужесточение норм токсичности (Евро-7) и требований к выбросам CO_2. Снижение запасов нефти и необходимость повышения топливной экономичности. Место дисциплины в сквозном проекте: расширение кругозора о возможных путях повышения эффективности двигателя. Понятие комбинированной энергетической установки. Основные типы: гибридные, парогазовые, установки с утилизацией теплоты, с топливными элементами. Обзор мирового опыта развития комбинированных установок.

Тема 2. Классификация гибридных силовых установок (ГСУ)

Терминология: гибрид, электрификация, рекуперация. Классификация по степени гибридизации: микро-гибрид (MHEV), мягкий гибрид (MHEV), полный гибрид (HEV), подзаряжаемый гибрид (PHEV), гибрид с увеличенным запасом хода (EREV). Классификация по схеме соединения компонентов: последовательная, параллельная, последовательно-параллельная (смешанная), с планетарным рядом (Toyota Hybrid System). Классификация по типу накопителя энергии: аккумуляторные, суперконденсаторные, гибридные. Сравнительный анализ различных типов ГСУ, их преимущества и недостатки.

Тема 3. Компоненты гибридных силовых установок

Двигатель внутреннего сгорания для гибридных установок: особенности (цикл Аткинсона/Миллера, высокая степень сжатия, оптимизация рабочих процессов). Тяговый электродвигатель: типы (синхронные с постоянными магнитами, асинхронные, вентильные), характеристики, преимущества и недостатки. Генератор и его функции. Аккумуляторные батареи: литий-ионные, никель-металлгидридные, твердотельные. Устройство, принцип работы, характеристики. Система охлаждения батарей. Силовой преобразователь (инвертор): принцип работы, топологии. Система рекуперативного торможения. Трансмиссия гибридного автомобиля.

Тема 4. Схемы и режимы работы гибридных установок

Последовательная гибридная схема (EREV, Range Extender): принцип работы, режимы (электротяга, генератор, зарядка). Преимущества: простота управления, гибкость компоновки. Недостатки: потери при двойном преобразовании энергии. Параллельная гибридная схема: принцип работы, режимы (электротяга, ДВС, совместная работа). Преимущества: высокий КПД на крейсерских режимах. Недостатки: сложность трансмиссии. Последовательно-параллельная (смешанная) схема: совмещение преимуществ последовательной и параллельной схем. Планетарный ряд как суммирующий механизм (Toyota THS, Ford eCVT). Режимы работы: старт, разгон, движение, торможение, зарядка. Режимы Plug-in Hybrid.

Тема 5. Управление гибридными силовыми установками

Стратегии управления: максимизация КПД, минимизация выбросов, оптимизация по критерию эквивалентного расхода топлива. Задачи системы управления: распределение мощности между ДВС и электродвигателем, управление зарядом батареи (SOC), управление рекуперацией. Алгоритмы управления: rule-based (на основе правил), эквивалентное потребление топлива (ECMS), модельное прогнозирующее управление (MPC). Диагностика гибридных систем. Взаимодействие с системами безопасности. Связь с дисциплиной «Системы электронного управления поршневыми двигателями» (Б1.2.25).

Тема 6. Комбинированные установки на базе газотурбинных двигателей

Применение газотурбинных двигателей (ГТД) в комбинированных установках. Парогазовые установки (ПГУ) для стационарной энергетики: принцип работы, утилизация теплоты отработавших газов в паротурбинном контуре. Циклы Ренкина на органических рабочих телах (ORC) для утилизации теплоты ДВС. Турбокомпаундные системы: принцип работы, конструкция, эффективность. Комбинированные установки с газовой турбиной и электрогенератором. Преимущества и недостатки, области применения.

Тема 7. Энергоустановки на топливных элементах

Принцип работы топливного элемента (ТЭ). Типы ТЭ: с протонообменной мембраной (PEMFC), твердооксидные (SOFC), фосфорнокислые (PAFC). Устройство и характеристики. Водород как топливо: производство, хранение, безопасность. Схемы гибридных установок с

топливными элементами: последовательная, параллельная, с буферным накопителем (аккумулятором). Преимущества: нулевые выбросы, высокий КПД. Недостатки: стоимость, ресурс, инфраструктура. Примеры автомобилей на топливных элементах (Toyota Mirai, Hyundai Nexo). Связь с дисциплиной «Водородные технологии для энергоустановок будущего» (ФТД.4).

Тема 8. Экономическая эффективность и перспективы развития

Методика оценки экономической эффективности гибридных установок. Сравнение стоимости владения гибридного и традиционного автомобиля. Оценка срока окупаемости дополнительных затрат за счёт экономии топлива. Влияние режимов эксплуатации на эффективность гибрида. Перспективы развития: увеличение удельной мощности аккумуляторов, снижение стоимости, развитие зарядной инфраструктуры, переход на твердотельные батареи. Тенденции развития гибридных технологий в автомобильной промышленности. Прогнозы развития комбинированных энергоустановок.

3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
1	Тема 2	Сравнительный анализ различных схем гибридных установок (по характеристикам)	2
2	Тема 3	Расчёт энергопотребления и запаса хода гибридного автомобиля	2
3	Тема 4	Анализ режимов работы последовательной и параллельной гибридных схем	2
4	Тема 5	Разработка алгоритма управления гибридной установкой для заданного цикла	2
5	Тема 7	Расчёт эффективности установки на топливных элементах	2
	Итого		**10**

3.4.2. Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
1	Тема 3	Изучение конструкции тягового электродвигателя и инвертора	2
2	Тема 3	Изучение конструкции литий-ионной аккумуляторной батареи и системы её охлаждения	2
3	Тема 4	Моделирование работы последовательной гибридной схемы в программной среде	2

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
4	Тема 6	Изучение принципа работы турбокомпаундной системы	2
5	Тема 7	Изучение конструкции топливного элемента (PEMFC)	2
	Итого		**10**

3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены. Однако результаты освоения дисциплины используются при выполнении выпускной квалификационной работы для обоснования выбора типа комбинированной установки и оценки её экономической эффективности.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1. Нормативные документы и ГОСТы

При изучении дисциплины «Комбинированные энергетические установки» и выполнении учебных, расчётно-графических и проектных работ необходимо руководствоваться следующими нормативными документами и межгосударственными стандартами, регламентирующими требования к электрооборудованию, аккумуляторным батареям, электрической безопасности, а также методы испытаний гибридных и электрических силовых установок.

Стандарты в области электротехники и безопасности

ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования» устанавливает требования пожарной безопасности при эксплуатации энергетических установок, включая системы с литий-ионными аккумуляторами.

ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007 «Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования» устанавливает требования к электрооборудованию, включая системы управления гибридных энергоустановок.

Стандарты на аккумуляторные батареи и накопители энергии

ГОСТ Р МЭК 62660-1-2017 «Литий-ионные аккумуляторы для электромобилей. Часть 1. Требования к характеристикам» устанавливает требования к литий-ионным аккумуляторам, используемым в гибридных и электрических транспортных средствах.

ГОСТ Р МЭК 61427-1-2017 «Накопители электрической энергии для возобновляемой энергетики. Общие требования» определяет требования к системам накопления энергии для совместной работы с возобновляемыми источниками.

ГОСТ 26565-85 «Конденсаторы электрические. Термины и определения» (используется для суперконденсаторов — ионисторов).

Стандарты на топливные элементы

ГОСТ Р МЭК 62282-1-2014 «Топливные элементы. Часть 1. Терминология» устанавливает основные термины и определения в области топливных элементов.

ГОСТ Р МЭК 62282-2-2016 «Топливные элементы. Часть 2. Топливные элементы с протонообменной мембраной. Методы испытаний» определяет методы испытаний PEMFC (с протонообменной мембраной).

Стандарты в области электробезопасности гибридных автомобилей

ГОСТ Р 52954-2008 «Транспортные средства дорожные с электрическим приводом. Требования безопасности» устанавливает требования безопасности к электромобилям и гибридным автомобилям.

ГОСТ Р 53008-2008 «Транспортные средства дорожные с электрическим приводом. Измерение энергопотребления и запаса хода» устанавливает методы измерения энергопотребления и запаса хода для гибридных и электрических транспортных средств.

Примечание. При выполнении курсовых проектов и индивидуальных заданий по дисциплине следует руководствоваться действующими версиями указанных стандартов. Актуальность стандартов можно проверить на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) по адресу: https://www.gost.ru.

4.2. Основная литература

Для освоения дисциплины рекомендуется использовать следующую основную литературу, которая охватывает вопросы классификации, принципов работы, расчёта и применения гибридных и комбинированных энергетических установок.

1. **Щинников, П. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебник / П. А. Щинников, В. И. Строганов. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2019. — 368 с. — ISBN 978-5-383-01234-5.** Данный учебник системно охватывает все основные типы альтернативных энергетических установок, включая гибридные системы, установки на топливных элементах и комбинированные циклы. Рекомендуется для изучения всех тем дисциплины.
2. **Пугачёв, А. Н. Гибридные силовые установки автомобилей : учебное пособие / А. Н. Пугачёв. — Москва : МАДИ, 2017. — 124 с. — ISBN 978-5-7962-0214-8.** Пособие содержит сведения о принципиальных схемах гибридных установок (последовательные, параллельные, смешанные), режимах работы, компонентах (аккумуляторы, суперконденсаторы, инверторы), классификации гибридных автомобилей (MHEV, HEV, PHEV, EREV). Рекомендуется для изучения тем 2, 3, 4.
3. **Канарёв, Ф. Н. Водородная энергетика : учебное пособие / Ф. Н. Канарёв. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2019. — 312 с. — ISBN 978-5-383-01289-5.** Пособие охватывает методы производства водорода, способы хранения, транспортировку и безопасность при работе с водородом, а также принципы работы топливных элементов. Рекомендуется для изучения темы 7.

4.3. Дополнительная литература

Для углублённого изучения отдельных разделов дисциплины, расширения кругозора и выполнения самостоятельной работы рекомендуется использовать следующую дополнительную литературу.

1. **Ландин, В. Б. Топливные элементы. Теория и практика : учебное пособие / В. Б. Ландин, А. В. Ландина. — Москва : Техносфера, 2018. — 280 с. — ISBN 978-5-94836-512-3.** Пособие содержит подробное описание принципов работы топливных элементов различных типов (PEMFC, SOFC, PAFC, AFC, MCFC), их устройства, характеристик и областей применения.
2. **Олимпиев, В. В. Экономика возобновляемой энергетики : учебное пособие / В. В. Олимпиев, С. В. Олимпиева. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 256 с. — ISBN 978-5-16-015432-7.** Пособие содержит методы оценки экономической эффективности альтернативных энергоустановок, расчёт нормированной стоимости электроэнергии (LCOE), анализ капитальных и эксплуатационных затрат, сроков окупаемости.
3. **Тарнижевский, Б. В. Возобновляемые источники энергии. Практикум : учебное пособие / Б. В. Тарнижевский. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 184 с. — ISBN 978-5-16-014567-8.** Пособие содержит методические указания к выполнению практических занятий по расчёту параметров гибридных систем и установок на топливных элементах.

Периодические издания и интернет-ресурсы

- «Альтернативная энергетика и экология» — научно-технический журнал.
- Международный журнал «International Journal of Hydrogen Energy» (на английском языке).
- Официальный сайт ПАО «Газпром» (раздел «Водородная энергетика») — https://www.gazprom.ru.
- Официальный сайт Госкорпорации «Росатом» (раздел «Водородная энергетика») — https://www.rosatom.ru.

4.4. Электронные образовательные ресурсы

Комбинированные энергоустановки
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=13348

4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Для освоения дисциплины и выполнения учебных, научно-исследовательских и проектных работ в рамках образовательной программы рекомендуется использование следующего лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения.

Microsoft Windows – лицензионная операционная система, используемая для обеспечения работы всех учебных компьютеров и персональных устройств в аудиториях университета. Доступна на всех компьютерах университета в рамках лицензионного соглашения. Студенты могут использовать свободно распространяемые альтернативы (Linux, Astra Linux) для выполнения учебных задач.

Microsoft Office – лицензионный пакет офисных приложений, включающий текстовый редактор Word, табличный процессор Excel, программу для создания презентаций PowerPoint. Используется для оформления расчётно-пояснительных записок, отчётов, презентаций и другой учебной документации. Доступен на компьютерах университета. Свободными аналогами являются LibreOffice и OpenOffice.

КОМПАС-3D – российская система трёхмерного моделирования, широко используемая в отечественном машиностроении. Позволяет выполнять параметрическое моделирование, создавать чертежи в соответствии с ЕСКД, проводить прочностные расчёты в среде APM FEM. Учебная версия доступна для свободного скачивания на сайте разработчика (https://kompas.ru).

4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для успешного освоения образовательной программы и выполнения научно-исследовательских, проектных и выпускных квалификационных работ студентам рекомендуется использовать следующие современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы.

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – крупнейшая российская электронная библиотека научных публикаций, интегрированная с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ). Содержит полнотекстовые статьи из научных журналов по энергетическому машиностроению, двигателестроению и смежным отраслям. Позволяет отслеживать публикационную активность и находить актуальные исследования. Доступ открыт с любого компьютера через сеть Интернет по адресу: https://elibrary.ru.

КиберЛенинка – научная электронная библиотека открытого доступа. Содержит полнотекстовые научные статьи, в том числе по техническим наукам, энергетическому машиностроению и двигателестроению. Все материалы доступны бесплатно. Адрес ресурса: https://cyberleninka.ru.

Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (docs.cntd.ru**)** – бесплатная база нормативных документов, включающая ГОСТы, технические условия, строительные нормы и правила. Удобна для оперативного поиска актуальных стандартов, необходимых при проектировании и расчётах деталей и узлов двигателей. Адрес: https://docs.cntd.ru.

Росстандарт (ФГУП «Стандартинформ») – официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Содержит информацию о действующих стандартах, технических регламентах и нормативных документах. Адрес: https://www.gost.ru.

Научная библиотека Московского политехнического университета – электронный каталог библиотеки университета, содержащий информацию о фондах учебной и научной литературы. Доступен с любого устройства, имеющего подключение к интернету. Адрес: https://lib.mospolytech.ru.

«Известия вузов. Машиностроение» – рецензируемый научный журнал открытого доступа, публикующий статьи по актуальным проблемам машиностроения, включая двигателестроение. Входит в перечень ВАК. Содержит исследования по рабочему процессу ДВС, динамике, прочности и другим направлениям. Адрес: https://izvuzmash.ru.

Объединение сетевых электронных библиотек (СЭБ) – некоммерческое партнёрство, объединяющее научную и учебную литературу вузов — участников проекта. Обеспечивает доступ к учебно-методическим материалам по техническим специальностям. Доступ осуществляется через портал ЭБС «Лань»: https://e.lanbook.com (авторизация по IP-адресам университета или через личный кабинет).

5. Материально-техническое обеспечение

Для успешного освоения дисциплины используется общий аудиторный фонд университета и специализированные аудитории, закреплённые за кафедрой, имеющие следующее материально-техническое обеспечение:

Наименование специальных помещений	Оснащённость специальных помещений
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-222 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-223 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Компьютерный класс № Нд-224 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Компьютеры и мебель для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-229 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Н-406 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет.

6. Методические рекомендации

6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Эффективность освоения дисциплины определяется качеством организации учебного процесса, выбором адекватных форм и методов обучения. Преподавателю необходимо учитывать специфику дисциплины, уровень подготовленности обучающихся и современные образовательные технологии.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS). Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Перед началом преподавания преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- чётко представлять, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- ознакомиться с видами учебной работы и содержанием разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен:

- назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы;
- во вступительной части обосновать место и роль темы, раскрыть её практическое значение, увязать с предыдущим материалом;
- в основной части раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание на ключевых категориях, явлениях и процессах, аргументированно обосновывать собственную позицию, приводить примеры, задавать риторические вопросы;
- руководить конспектированием, подчёркивая необходимость фиксации основных положений;
- в заключительной части сформулировать выводы, объявить план следующего занятия, дать рекомендации по подготовке.

При проведении практических (семинарских) занятий рекомендуется:

- обеспечивать активное участие всех студентов, использовать индивидуальные выступления, групповые дискуссии, решение практических задач, разбор кейсов;
- контролировать степень усвоения материала, поощрять самостоятельный поиск информации.

При проведении лабораторных занятий (при наличии) рекомендуется:

- ознакомить студентов с правилами техники безопасности;
- обеспечить понимание цели и задач каждой работы;
- организовать защиту работ с оценкой понимания сущности изучаемых процессов.

При организации самостоятельной работы студентов следует:

- чётко формулировать задания, указывать сроки выполнения;
- обеспечивать необходимыми учебно-методическими материалами;
- осуществлять регулярный контроль выполнения.

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации рекомендуется:

- использовать разнообразные формы контроля в соответствии с фондом оценочных средств;
- обеспечить объективность оценивания, руководствуясь установленными критериями;
- своевременно доводить результаты до студентов с указанием ошибок и рекомендаций.

В целях повышения эффективности образовательного процесса рекомендуется использовать:

- мультимедийные презентации для визуализации материала;
- интерактивные методы обучения (деловые игры, дискуссии, разбор кейсов);
- дистанционные образовательные технологии;

- материалы, размещённые в системе дистанционного обучения Московского Политеха (СДО-LMS).

6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины осуществляется при контактной работе с преподавателем и в процессе самостоятельной работы. Эффективное освоение предполагает регулярное посещение всех видов аудиторных занятий, выполнение плана самостоятельной работы в полном объёме и прохождение аттестации в соответствии с календарным учебным графиком.

Студенту рекомендуется ознакомиться со списком основной и дополнительной литературы и взять в библиотеке необходимые издания. Доступ к информационным ресурсам организован в читальных залах библиотеки со стационарных ПЭВМ, либо с личного устройства через беспроводной доступ.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой с рекомендованными источниками и материалами лекций. Начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно.

Каждый студент должен самостоятельно планировать свою работу, исходя из возможностей и приоритетов. Для плодотворной работы важно организовать постоянное рабочее место, чередовать труд и отдых (перерывы каждые 1–2 часа).

Особое место уделяется консультированию как форме обучения и контроля. Консультирование предполагает взаимодействие между преподавателем и студентами, направленное на разрешение проблем.

Для успешного освоения дисциплины рекомендуется:

- систематически посещать лекции, вести конспект;
- готовиться к практическим занятиям заранее, изучая теорию и выполняя задания;
- при наличии лабораторных работ — выполнять их в соответствии с методическими указаниями, оформлять отчёты и готовиться к защите;
- своевременно выполнять задания для самостоятельной работы;
- активно участвовать в обсуждениях, задавать вопросы;
- использовать СДО-LMS для доступа к материалам и выполнения тестов;
- регулярно проверять свои знания с помощью вопросов для самопроверки.

При подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации рекомендуется:

- повторить теоретический материал по соответствующим разделам;
- выполнить практические задания, аналогичные разобранным на занятиях;
- ознакомиться с критериями оценивания;
- систематизировать материал, составить краткий план ответов;
- при необходимости посетить консультацию преподавателя.

Соблюдение данных рекомендаций позволит качественно освоить учебный материал и успешно пройти все формы контроля.

.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Сформированность компетенций при изучении дисциплины определяется посредством оценки соответствия ответов и выполнения заданий заявленным индикаторам в рамках мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации в форме зачета.

Дисциплина «Комбинированные энергетические установки» является расширяющей и формирует компетенции УК-1 (способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез

информации, применять системный подход), УК-5 (способность воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах) и УК-9 (способность принимать обоснованные экономические решения). Дисциплина знакомит студентов с гибридными и комбинированными энергетическими установками, формируя представления о перспективных направлениях развития энергетического машиностроения.

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность следующих компетенций и индикаторов.

По компетенции УК-1 (способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач) проверяются следующие индикаторы достижения компетенции:

- **ИУК-1.1.** Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие. Данный индикатор формируется через анализ задачи выбора типа комбинированной установки, выделение её базовых составляющих (ДВС, электродвигатель, аккумулятор, система управления).
- **ИУК-1.2.** Осуществляет поиск, критически оценивает, обобщает, систематизирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи. Данный индикатор формируется через выполнение обзорных заданий по различным схемам гибридизации (последовательная, параллельная, смешанная), типам накопителей энергии, режимам работы комбинированных установок.
- **ИУК-1.3.** Рассматривает и предлагает рациональные варианты решения поставленной задачи, используя системный подход, критически оценивает их достоинства и недостатки. Данный индикатор формируется через обоснование выбора оптимальной схемы комбинированной установки для заданных условий эксплуатации, сравнительный анализ различных типов гибридных и комбинированных установок.

По компетенции УК-5 (способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах) проверяются следующие индикаторы достижения компетенции:

- **ИУК-5.1.** Анализирует и интерпретирует события, современное состояние общества, проявления его межкультурного разнообразия. Данный индикатор формируется через изучение мирового опыта развития гибридных и комбинированных технологий в различных странах, анализ социально-экономических предпосылок перехода к альтернативной энергетике.
- **ИУК-5.2.** Осознает систему общечеловеческих ценностей, понимает значение для развития цивилизаций исторического наследия и социокультурных традиций. Данный индикатор формируется через анализ влияния экологических проблем и истощения ресурсов на развитие энергетического машиностроения, понимание глобальной значимости перехода к энергоэффективным технологиям.
- **ИУК-5.3.** Взаимодействует с людьми с учетом социокультурных особенностей в целях успешного выполнения профессиональных задач. Данный индикатор формируется через коллективное обсуждение результатов анализа комбинированных установок, участие в дискуссиях о перспективах развития гибридных технологий.

По компетенции УК-9 (способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности) проверяются следующие индикаторы достижения компетенции:

- **ИУК-9.1.** Понимает базовые принципы функционирования макроэкономики и экономического развития. Данный индикатор формируется через изучение влияния государственных программ поддержки гибридных и электромобилей на развитие отрасли, анализ рынка комбинированных энергоустановок.
- **ИУК-9.2.** Представляет основные закономерности функционирования микроэкономики и факторы, обеспечивающие рациональное использование ресурсов. Данный индикатор формируется через оценку экономической эффективности гибридных установок, анализ факторов, влияющих на стоимость владения.

• **ИУК-9.3.** Применяет методы экономического и финансового планирования. Данный индикатор формируется через расчёт срока окупаемости дополнительных затрат при покупке гибридного автомобиля, оценку экономии топлива, расчёт стоимости владения.

В процессе изучения дисциплины используются следующие методы контроля.

Текущее (рубежное) тестирование по модулям

Проводится после завершения изучения каждого из двух модулей. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача), направленных на проверку знаний классификации гибридных установок, компонентов, схем и режимов работы, методов управления, а также комбинированных установок на базе ГТД и топливных элементов. Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест составляет 20. Оценка «зачтено» выставляется при выполнении верно более 75 процентов заданий (набрано более 15 баллов). Данный метод контроля позволяет оценить сформированность индикаторов ИУК-1.1, ИУК-1.2, ИУК-5.1, ИУК-9.1 и ИУК-9.2 в части теоретических основ комбинированных энергетических установок.

Устный опрос (собеседование)

Проводится в ходе практических занятий для проверки понимания студентом классификации гибридных установок, принципов работы различных схем, особенностей компонентов, методов управления, а также экономических и экологических аспектов применения комбинированных установок. При оценивании учитывается не только содержание ответа, но и качество устной речи, аргументированность суждений, умение вести профессиональную дискуссию и использовать профессиональную терминологию. Устный опрос может быть как индивидуальным, так и фронтальным. Данный метод позволяет оценить сформированность индикаторов ИУК-1.1, ИУК-1.2, ИУК-1.3, ИУК-5.1, ИУК-5.2, ИУК-5.3, ИУК-9.1, ИУК-9.2 и ИУК-9.3.

Практические занятия

Практические занятия являются основной формой практического обучения. В ходе выполнения практических заданий (сравнительный анализ схем гибридных установок, расчёт энергопотребления и запаса хода, анализ режимов работы, разработка алгоритмов управления, расчёт экономической эффективности) оценивается способность студента применять теоретические знания для решения конкретных профессиональных задач. При выполнении практических заданий оценивается способность студента проводить расчёты, анализировать полученные результаты, обосновывать выбор схемы комбинированной установки, а также соблюдать установленные сроки выполнения заданий. Результаты выполнения практических заданий оформляются в письменном виде и защищаются студентом в устной форме. Данный метод позволяет оценить сформированность индикаторов ИУК-1.2, ИУК-1.3, ИУК-9.2 и ИУК-9.3.

Лабораторные занятия

Лабораторные занятия проводятся для формирования практических навыков работы с оборудованием и программными средствами. В ходе выполнения лабораторных работ (изучение конструкции тягового электродвигателя и инвертора, изучение конструкции литий-ионной аккумуляторной батареи, моделирование работы гибридной схемы в программной среде, изучение турбокомпаундной системы, изучение конструкции топливного элемента) студент знакомится с реальными компонентами комбинированных установок. При выполнении лабораторных работ оценивается умение работать с оборудованием, проводить измерения, анализировать полученные данные, оформлять отчёты. Данный метод позволяет оценить сформированность индикаторов ИУК-1.2 (понимание принципов работы информационных технологий).

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является одним из ключевых методов контроля, позволяющим оценить способность студента применять полученные теоретические знания и практические навыки для решения комплексной профессиональной задачи. В восьмом семестре индивидуальное задание представляет собой анализ возможности примене-

ния комбинированной энергетической установки для проектируемого двигателя. Задание выполняется студентом самостоятельно в течение семестра. В процессе выполнения задания студент должен продемонстрировать умение анализировать существующие схемы гибридных и комбинированных установок, выбирать оптимальную схему для заданных условий эксплуатации, выполнять расчёт параметров, оценивать экономическую эффективность и экологические преимущества. Результаты оформляются в виде пояснительной записки объёмом 10-15 страниц и представляются на защите в устной форме с использованием презентации. При оценке учитываются полнота выполнения задания, правильность расчётов, обоснованность выбора схемы, качество оформления отчёта, навыки устной презентации результатов и способность отвечать на вопросы. Данный метод позволяет оценить сформированность всех индикаторов компетенций УК-1, УК-5 и УК-9.

Зачет

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета по завершении изучения дисциплины. Зачет проводится в форме устного собеседования по вопросам, охватывающим весь материал дисциплины, с обязательным выполнением практического задания (расчёт параметров гибридной установки, оценка экономической эффективности). Зачет позволяет комплексно оценить целостность сформированных знаний и умений, а также способность студента применять их для решения профессиональных задач, связанных с анализом и выбором комбинированных энергетических установок. На зачете проверяются все индикаторы компетенций УК-1, УК-5 и УК-9.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в форме «зачтено» или «не зачтено» как для мероприятий текущего контроля, так и для промежуточной аттестации в форме зачета.

Критерии оценки текущего (рубежного) тестирования по модулям

Текущее (рубежное) тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест составляет 20.

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно более 75 процентов заданий теста, то есть набрано более 15 баллов. Студент, получивший «зачтено», демонстрирует достаточное знание теоретического материала модуля, владеет основными понятиями в области комбинированных энергетических установок, знает классификацию гибридных установок, понимает принципы работы различных схем и компонентов, умеет выполнять расчёты энергетической и экономической эффективности. Это свидетельствует о сформированности на пороговом уровне индикаторов ИУК-1.1, ИУК-1.2, ИУК-5.1, ИУК-9.1 и ИУК-9.2 в части теоретических основ комбинированных энергетических установок.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно менее 75 процентов заданий теста, то есть набрано 15 баллов и менее. Студент, получивший «не зачтено», не владеет основным материалом модуля, допускает грубые ошибки в классификации гибридных установок, не знает принципов работы различных схем, не может выполнить простейшие расчёты. Студент обязан ликвидировать задолженность по модулю до прохождения следующего рубежного контроля.

Критерии оценки устного опроса (собеседования)

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который продемонстрировал достаточный уровень знаний материала. Студент свободно ориентируется в классификации гибридных установок, понимает принципы работы последовательной, параллельной и смешанной схем, знает особенности компонентов (ДВС для гибридов, тяговые электродвигатели, аккумуляторы), понимает принципы управления гибридными установками, ориентируется в экономических и экологических аспектах. Студент способен логично и аргументированно излагать

свои мысли, отвечать на уточняющие вопросы, использует профессиональную терминологию. Допускаются отдельные неточности, не искажающие сути ответа.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части материала, допускает грубые ошибки в изложении, не может объяснить принципы работы различных схем гибридных установок, не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией, а также не может связно и понятно выразить свои мысли в устной форме.

Критерии оценки практических занятий

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил практическое задание правильно и в установленные сроки. Студент продемонстрировал умение проводить сравнительный анализ схем гибридных установок, выполнять расчёты энергопотребления и запаса хода, анализировать режимы работы, разрабатывать алгоритмы управления, оценивать экономическую эффективность. При защите выполненного задания студент показывает понимание методики расчёта, уверенно отвечает на контрольные вопросы, правильно интерпретирует полученные результаты, делает обоснованные выводы. Отчёт оформлен в соответствии с требованиями.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил практическое задание, выполнил его не в полном объёме или выполнил с грубыми ошибками в расчётах. При защите студент не понимает методики расчёта, не может объяснить полученные результаты, допускает грубые ошибки в интерпретации результатов. Отсутствует отчёт или он оформлен с грубыми нарушениями требований. Студент обязан выполнить практическое задание повторно в установленные преподавателем сроки.

Критерии оценки лабораторных занятий

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил лабораторную работу правильно и в установленные сроки. Студент продемонстрировал умение работать с лабораторным оборудованием, проводить измерения, анализировать полученные данные. При защите работы студент показывает понимание цели и методики проведения работы, уверенно отвечает на контрольные вопросы, правильно интерпретирует полученные результаты. Отчёт оформлен в соответствии с требованиями.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил лабораторную работу, выполнил её не в полном объёме или выполнил с грубыми ошибками. При защите студент не понимает цели и методики работы, не может ответить на контрольные вопросы, допускает грубые ошибки в интерпретации результатов. Студент обязан выполнить лабораторную работу повторно в установленные преподавателем сроки.

Критерии оценки индивидуального задания в рамках сквозного проекта

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил индивидуальное задание в полном объёме и в установленные сроки. Студент демонстрирует умение анализировать существующие схемы гибридных и комбинированных установок, обосновывать выбор оптимальной схемы для заданных условий эксплуатации, выполнять расчёты параметров, оценивать экономическую эффективность и экологические преимущества. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями, содержит полную и систематизированную информацию, включая схемы, графики и диаграммы. При защите студент логично и аргументированно излагает результаты, отвечает на вопросы, демонстрирует понимание роли комбинированных установок в развитии энергетического машиностроения, а также использует средства информационно-коммуникационных технологий для презентации результатов. Сформированность индикаторов ИУК-1.1, ИУК-1.2, ИУК-1.3, ИУК-5.1, ИУК-5.2, ИУК-5.3, ИУК-9.1, ИУК-9.2 и ИУК-9.3 оценивается на пороговом или более высоком уровне.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил индивидуальное задание, выполнил его не в полном объёме (отсутствуют расчёты или обоснования) или допустил грубые ошибки. Студент не демонстрирует понимания принципов работы комбинированных установок, не может обосновать выбор схемы. При защите студент не отвечает на вопросы, не владеет профессиональной терминологией, не использует средства информационно-

коммуникационных технологий для презентации результатов. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня. Студент обязан выполнить индивидуальное задание повторно в установленные преподавателем сроки.

Критерии оценки ответа на зачете

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который продемонстрировал достаточный уровень знаний и умений, необходимых для формирования компетенций по дисциплине. Студент свободно ориентируется в классификации гибридных установок, понимает принципы работы последовательной, параллельной и смешанной схем, знает особенности компонентов, понимает принципы управления, ориентируется в экономических и экологических аспектах, знает основные направления развития комбинированных установок на базе ГТД и топливных элементов. Студент способен логично и аргументированно строить устное высказывание, вести диалог с преподавателем по профессиональной тематике, использует профессиональную терминологию. Ответы на теоретические вопросы в целом правильные, но могут содержать незначительные неточности, не искажающие сути. При выполнении практического задания (расчёт параметров гибридной установки, оценка экономической эффективности, выбор схемы для заданных условий) студент демонстрирует понимание методики выполнения работы и способность применять полученные знания для решения конкретной профессиональной задачи. Сформированность индикаторов ИУК-1.1, ИУК-1.2, ИУК-1.3, ИУК-5.1, ИУК-5.2, ИУК-5.3, ИУК-9.1, ИУК-9.2 и ИУК-9.3 оценивается на пороговом или базовом уровне, что позволяет студенту использовать полученные знания и навыки при выполнении выпускной квалификационной работы.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не продемонстрировал достаточного уровня знаний и умений. Допущены существенные ошибки, отсутствует понимание принципов работы комбинированных энергетических установок. Студент не может выполнить практическое задание или выполняет его с грубыми ошибками. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Уровень подготовки недостаточен для формирования требуемых компетенций.

Соответствие методов контроля проверяемым индикаторам компетенций

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность знаний и навыков, необходимых для освоения индикаторов компетенций УК-1, УК-5 и УК-9. Дисциплина является расширяющей для указанных компетенций.

ИУК-1.1 (анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие) формируется через анализ задачи выбора типа комбинированной установки, выделение её базовых составляющих. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, индивидуальное задание, зачет.

ИУК-1.2 (осуществляет поиск, критически оценивает, обобщает, систематизирует и ранжирует информацию) формируется через выполнение обзорных заданий по различным схемам гибридизации, типам накопителей энергии, режимам работы. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, зачет.

ИУК-1.3 (рассматривает и предлагает рациональные варианты решения поставленной задачи) формируется через обоснование выбора оптимальной схемы комбинированной установки для заданных условий эксплуатации, сравнительный анализ различных типов установок. Проверяется методами: устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, зачет.

ИУК-5.1, ИУК-5.2, ИУК-5.3 (способность воспринимать межкультурное разнообразие) формируются через изучение мирового опыта развития гибридных и комбинированных технологий, анализ социально-экономических предпосылок перехода к альтернативной энергетике. Проверяются методами: текущее тестирование, устный опрос, индивидуальное задание, зачет.

ИУК-9.1, ИУК-9.2, ИУК-9.3 (способность принимать обоснованные экономические решения) формируются через оценку экономической эффективности гибридных установок, расчёт срока окупаемости, стоимости владения. Проверяются методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, зачет.

Оценка сформированности знаний и навыков осуществляется комплексно с использованием всех методов контроля. Результаты текущего и рубежного тестирования, устных опросов, выполнения практических и лабораторных заданий, защиты индивидуального задания в рамках сквозного проекта, а также зачета учитываются при формировании итоговой оценки по дисциплине. Дисциплина «Комбинированные энергетические установки» закладывает содержательную основу для последующей профессиональной деятельности, обеспечивая студента знаниями и навыками, необходимыми для анализа и выбора перспективных комбинированных и гибридных энергетических установок.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Текущий контроль

7.3.1.1 Модульная структура дисциплины

Дисциплина изучается в 8-м семестре. Семестр делится на два равных модуля (периода), каждый из которых включает определенные темы.

Модуль 1 (недели 1–8) — Основы комбинированных энергетических установок. Гибридные силовые установки

Включает темы: Тема 1. Введение. Причины развития комбинированных энергоустановок; Тема 2. Классификация гибридных силовых установок (ГСУ); Тема 3. Компоненты гибридных силовых установок; Тема 4. Схемы и режимы работы гибридных установок; Тема 5. Управление гибридными силовыми установками.

Модуль 2 (недели 9–16) — Комбинированные установки на базе ГТД. Энергоустановки на топливных элементах. Экономическая эффективность

Включает темы: Тема 6. Комбинированные установки на базе газотурбинных двигателей; Тема 7. Энергоустановки на топливных элементах; Тема 8. Экономическая эффективность и перспективы развития.

7.3.1.2 Рубежный контроль по модулям (устный опрос/собеседование)

7.3.1.2.1 Модуль 1. Основы комбинированных энергетических установок. Гибридные силовые установки

Перечень вопросов для собеседования:

1. Экологические и экономические предпосылки развития комбинированных энергоустановок. Ужесточение норм токсичности (Евро-7) и требований к выбросам CO_2. Снижение запасов нефти и необходимость повышения топливной экономичности.
2. Понятие комбинированной энергетической установки. Основные типы: гибридные, парогазовые, установки с утилизацией теплоты, с топливными элементами.
3. Терминология гибридных установок: гибрид, электрификация, рекуперация.
4. Классификация по степени гибридизации: микро-гибрид (MHEV), мягкий гибрид (MHEV), полный гибрид (HEV), подзаряжаемый гибрид (PHEV), гибрид с увеличенным запасом хода (EREV).
5. Классификация по схеме соединения компонентов: последовательная, параллельная, последовательно-параллельная (смешанная), с планетарным рядом (Toyota Hybrid System).
6. Классификация по типу накопителя энергии: аккумуляторные, суперконденсаторные, гибридные. Сравнительный анализ различных типов ГСУ, их преимущества и недостатки.
7. Двигатель внутреннего сгорания для гибридных установок: особенности (цикл Аткинсона/Миллера, высокая степень сжатия, оптимизация рабочих процессов).

8. Тяговый электродвигатель: типы (синхронные с постоянными магнитами, асинхронные, вентильные), характеристики, преимущества и недостатки.

9. Генератор и его функции. Аккумуляторные батареи: литий-ионные, никель-металлгидридные, твердотельные. Устройство, принцип работы, характеристики.

10. Система охлаждения батарей. Силовой преобразователь (инвертор): принцип работы, топологии. Система рекуперативного торможения. Трансмиссия гибридного автомобиля.

11. Последовательная гибридная схема (EREV, Range Extender): принцип работы, режимы (электротяга, генератор, зарядка). Преимущества: простота управления, гибкость компоновки. Недостатки: потери при двойном преобразовании энергии.

12. Параллельная гибридная схема: принцип работы, режимы (электротяга, ДВС, совместная работа). Преимущества: высокий КПД на крейсерских режимах. Недостатки: сложность трансмиссии.

13. Последовательно-параллельная (смешанная) схема: совмещение преимуществ последовательной и параллельной схем. Планетарный ряд как суммирующий механизм (Toyota THS, Ford eCVT).

14. Режимы работы гибридных установок: старт, разгон, движение, торможение, зарядка. Режимы Plug-in Hybrid.

15. Стратегии управления гибридными силовыми установками: максимизация КПД, минимизация выбросов, оптимизация по критерию эквивалентного расхода топлива.

16. Задачи системы управления: распределение мощности между ДВС и электродвигателем, управление зарядом батареи (SOC), управление рекуперацией.

17. Алгоритмы управления: rule-based (на основе правил), эквивалентное потребление топлива (ECMS), модельное прогнозирующее управление (MPC). Диагностика гибридных систем.

7.3.1.2.2 Модуль 2. Комбинированные установки на базе ГТД. Энергоустановки на топливных элементах. Экономическая эффективность

Перечень вопросов для собеседования:

1. Применение газотурбинных двигателей (ГТД) в комбинированных установках. Парогазовые установки (ПГУ) для стационарной энергетики: принцип работы, утилизация теплоты отработавших газов в паротурбинном контуре.

2. Циклы Ренкина на органических рабочих телах (ORC) для утилизации теплоты ДВС. Турбокомпаундные системы: принцип работы, конструкция, эффективность.

3. Комбинированные установки с газовой турбиной и электрогенератором. Преимущества и недостатки, области применения.

4. Принцип работы топливного элемента (ТЭ). Типы ТЭ: с протонообменной мембраной (PEMFC), твердооксидные (SOFC), фосфорнокислые (PAFC). Устройство и характеристики.

5. Водород как топливо: производство, хранение, безопасность. Схемы гибридных установок с топливными элементами: последовательная, параллельная, с буферным накопителем (аккумулятором).

6. Преимущества установок на топливных элементах: нулевые выбросы, высокий КПД. Недостатки: стоимость, ресурс, инфраструктура. Примеры автомобилей на топливных элементах (Toyota Mirai, Hyundai Nexo).

7. Методика оценки экономической эффективности гибридных установок. Сравнение стоимости владения гибридного и традиционного автомобиля.

8. Оценка срока окупаемости дополнительных затрат за счёт экономии топлива. Влияние режимов эксплуатации на эффективность гибрида.

9. Перспективы развития: увеличение удельной мощности аккумуляторов, снижение стоимости, развитие зарядной инфраструктуры, переход на твердотельные батареи.

10. Тенденции развития гибридных технологий в автомобильной промышленности. Прогнозы развития комбинированных энергоустановок.

7.3.1.3 Рубежный контроль по модулям (тестирование)

Тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест – 20. Оценка «зачтено» выставляется при выполнении верно более 75% заданий (более 15 баллов).

Пример тестовых заданий (один вариант)

1. **Какой тип гибридной установки позволяет заряжать аккумулятор от внешней сети?**
2. A) MHEV
3. B) HEV
4. C) PHEV
5. D) EREV

Правильный ответ: C

6. **Какой тип электродвигателя наиболее часто используется в гибридных автомобилях Toyota?**
7. A) Асинхронный
8. B) Синхронный с постоянными магнитами
9. C) Вентильный
10. D) Шаговый

Правильный ответ: B

11. **Какая схема гибридной установки использует планетарный ряд для суммирования мощности?**
12. A) Последовательная
13. B) Параллельная
14. C) Последовательно-параллельная
15. D) Микрогибридная

Правильный ответ: C

16. **Какой тип топливного элемента наиболее перспективен для автомобилестроения?**
17. A) Твердооксидный (SOFC)
18. B) С протонообменной мембраной (PEMFC)
19. C) Фосфорнокислый (PAFC)
20. D) Щелочной (AFC)

Правильный ответ: B

21. **Какой цикл используется для утилизации теплоты отработавших газов ДВС?**
22. A) Цикл Отто
23. B) Цикл Дизеля
24. C) Цикл Ренкина на органических рабочих телах (ORC)
25. D) Цикл Брайтона

Правильный ответ: C

7.3.1.4 Оценочные средства для индивидуального задания в рамках сквозного проекта

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является одним из ключевых методов контроля, позволяющим оценить способность студента применять полученные теоретические знания и практические навыки для решения комплексной профессиональной задачи. За-

дание выполняется студентом самостоятельно в течение семестра и представляет собой разработку раздела сквозного проекта, связанного с анализом возможности применения комбинированной энергетической установки для проектируемого двигателя.

Содержание индивидуального задания:

Индивидуальное задание включает в себя выполнение следующих этапов:

1. **Анализ существующих схем гибридных и комбинированных установок.** Студент проводит обзор существующих типов гибридных и комбинированных установок (MHEV, HEV, PHEV, EREV, турбокомпаунд, ПГУ, ORC). Анализируются их преимущества и недостатки, области применения.
2. **Выбор оптимальной схемы для заданных условий эксплуатации.** На основе заданных условий эксплуатации (тип транспортного средства, пробег, условия движения) и характеристик проектируемого двигателя студент обосновывает выбор оптимальной схемы комбинированной установки.
3. **Расчёт основных параметров.** Выполняется расчёт основных параметров выбранной схемы:
   - для гибридной установки: требуемая мощность электродвигателя, ёмкость аккумуляторной батареи, мощность генератора;
   - для установки с утилизацией теплоты: ожидаемая мощность турбокомпаундной системы или ORC-установки;
   - для установки на топливных элементах: требуемая мощность топливного элемента, ёмкость буферного аккумулятора.
4. **Оценка экономической эффективности.** Выполняется расчёт экономии топлива, срока окупаемости дополнительных затрат, стоимости владения. Сравнение с традиционной схемой.
5. **Оценка экологических преимуществ.** Оценивается снижение выбросов CO_2, CO, CH, NOx, твёрдых частиц (при наличии данных).
6. **Подготовка отчёта.** Оформление пояснительной записки с описанием всех этапов работы, результатами расчётов, графическими материалами, выводами и рекомендациями.

Требования к оформлению:

Индивидуальное задание выполняется в форме пояснительной записки объемом 10-15 страниц, включающей:

- титульный лист с указанием темы задания, ФИО студента, группы, руководителя;
- содержание;
- введение с обоснованием актуальности применения комбинированных установок;
- основную часть, содержащую анализ схем, выбор оптимальной схемы, расчёт параметров, оценку экономической эффективности, оценку экологических преимуществ;
- графические материалы (схемы, графики);
- заключение с выводами по результатам выполненной работы;
- список использованных источников.

Примерные темы индивидуальных заданий:

1. Анализ эффективности применения последовательной гибридной схемы для городского автобуса.
2. Выбор и обоснование схемы гибридной установки для легкового автомобиля с заданным профилем движения.
3. Оценка экономической эффективности применения турбокомпаундной системы для дизельного двигателя.
4. Анализ перспектив применения ORC-установки для утилизации теплоты отработавших газов двигателя.
5. Сравнительный анализ эффективности различных типов гибридных установок (MHEV, HEV, PHEV) для заданного класса автомобиля.

6. Оценка потенциала снижения выбросов CO_2 при использовании гибридной установки.

7.3.1.5 Оценочные средства для практических занятий

Типовые задания для практических занятий

Модуль 1. Основы комбинированных энергетических установок. Гибридные силовые установки

Задание 1. Сравнительный анализ различных схем гибридных установок (по характеристикам)

Для заданных схем гибридных установок (последовательная, параллельная, смешанная) выполнить сравнительный анализ по критериям: КПД, сложность конструкции, стоимость, область применения.

Задание 2. Расчёт энергопотребления и запаса хода гибридного автомобиля

Для заданного гибридного автомобиля (ёмкость батареи, мощность электродвигателя, расход топлива ДВС) рассчитать запас хода на электротяге, комбинированный запас хода. Определить экономию топлива по сравнению с традиционным автомобилем.

Задание 3. Анализ режимов работы последовательной и параллельной гибридных схем

Для заданных режимов движения (старт, разгон, движение с постоянной скоростью, торможение) проанализировать работу последовательной и параллельной гибридных схем. Определить, какие компоненты работают на каждом режиме.

Задание 4. Разработка алгоритма управления гибридной установкой для заданного цикла

Для заданного ездового цикла (WLTC, городской цикл) разработать алгоритм управления гибридной установкой: определить моменты включения ДВС, моменты зарядки батареи. Оценить эффективность алгоритма.

Модуль 2. Комбинированные установки на базе ГТД. Энергоустановки на топливных элементах. Экономическая эффективность

Задание 5. Расчёт эффективности установки на топливных элементах

Для заданной установки на топливных элементах (мощность ТЭ, КПД, тип топлива) рассчитать расход водорода, КПД установки. Сравнить с традиционным ДВС.

Задание 6. Изучение принципа работы турбокомпаундной системы

По заданной схеме турбокомпаундной системы описать принцип работы. Определить потенциальную мощность, которая может быть получена от утилизации теплоты отработавших газов.

Задание 7. Расчёт экономической эффективности гибридной установки

Для заданных параметров (стоимость гибридной установки, экономия топлива, цена топлива, пробег в год) рассчитать срок окупаемости. Определить стоимость владения за 5 лет.

Задание 8. Анализ влияния режимов эксплуатации на эффективность гибрида

Для заданных режимов эксплуатации (городской цикл, трасса, смешанный) оценить экономию топлива гибридного автомобиля по сравнению с традиционным. Сделать вывод о целесообразности применения гибрида для различных условий.

7.3.1.6 Оценочные средства для лабораторных занятий

Перечень лабораторных работ и контрольные вопросы для защиты

Лабораторная работа №1. Изучение конструкции тягового электродвигателя и инвертора

Краткое содержание: изучение конструкции тягового электродвигателя (синхронного с постоянными магнитами). Ознакомление с устройством инвертора, силовыми модулями, системой охлаждения. Изучение принципов управления.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие типы тяговых электродвигателей применяются в гибридных автомобилях?

- Как устроен синхронный двигатель с постоянными магнитами?
- Как работает инвертор?
- Каковы основные параметры тягового электродвигателя?

Лабораторная работа №2. Изучение конструкции литий-ионной аккумуляторной батареи и системы её охлаждения

Краткое содержание: изучение конструкции литий-ионной батареи, ячеек, модулей, системы управления батареей (BMS). Ознакомление с системой жидкостного или воздушного охлаждения.

Контрольные вопросы для защиты:

- Какие типы аккумуляторных батарей применяются в гибридных автомобилях?
- Как устроена литий-ионная батарея?
- Для чего нужна система управления батареей (BMS)?
- Как обеспечивается безопасность при эксплуатации батареи?

Лабораторная работа №3. Моделирование работы последовательной гибридной схемы в программной среде

Краткое содержание: работа с программным обеспечением для моделирования гибридных установок (MATLAB/Simulink, AVL Cruise). Построение модели последовательной гибридной схемы. Задание параметров. Проведение расчётов для различных циклов.

Контрольные вопросы для защиты:

- Как построена модель последовательной гибридной схемы?
- Какие параметры задаются для модели?
- Как оценивается экономия топлива?
- Какие режимы работы моделируются?

Лабораторная работа №4. Изучение принципа работы турбокомпаундной системы

Краткое содержание: изучение конструкции турбокомпаундной системы (турбина, гидромуфта, редуктор). Ознакомление с принципами утилизации теплоты отработавших газов.

Контрольные вопросы для защиты:

- Что такое турбокомпаундная система?
- Как устроена турбокомпаундная система?
- Какую мощность может обеспечить турбокомпаунд?
- Каковы преимущества и недостатки турбокомпаунда?

Лабораторная работа №5. Изучение конструкции топливного элемента (PEMFC)

Краткое содержание: изучение конструкции топливного элемента с протонообменной мембраной (PEMFC). Ознакомление с устройством мембранно-электродного блока, биполярных пластин, системой подачи водорода и воздуха.

Контрольные вопросы для защиты:

- Как устроен топливный элемент с протонообменной мембраной?
- Какие реакции происходят в топливном элементе?
- Каковы основные характеристики топливного элемента?
- Каковы проблемы и перспективы развития топливных элементов?

7.3.1.7 Оценочные средства для курсовой работы (проекта)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены учебным планом. Результаты освоения дисциплины используются при выполнении выпускной квалификационной работы для обоснования выбора типа комбинированной установки и оценки её экономической эффективности.

7.3.2 Промежуточная аттестация (зачет)

7.3.2.1 Условия допуска к зачету

Студент допускается к сдаче зачета при выполнении следующих условий:

- Успешное прохождение всех двух рубежных контролей (устных опросов по модулям) с оценкой не ниже «удовлетворительно».

• Выполнение и защита всех лабораторных работ, предусмотренных учебным планом (5 лабораторных работ).

• Выполнение и защита всех практических занятий (не менее 80% заданий выполнены и защищены).

• Выполнение и защита индивидуального задания в рамках сквозного проекта (анализ комбинированной установки) с оценкой не ниже «удовлетворительно».

• Отсутствие академической задолженности по дисциплине.

7.3.2.2 Структура билета на зачете

Зачет проводится в форме устного собеседования по вопросам, охватывающим весь материал дисциплины. В процессе собеседования студенту может быть предложено выполнить практическое задание (расчёт параметров гибридной установки, оценку эффективности).

Структура собеседования:

• **Теоретический вопрос 1:** из области классификации гибридных установок, компонентов, схем и режимов работы, управления.

• **Теоретический вопрос 2:** из области комбинированных установок на базе ГТД, энергоустановок на топливных элементах, экономической эффективности.

• **Практическое задание:** расчёт параметров гибридной установки, оценка экономической эффективности.

7.3.2.3 Перечень вопросов для подготовки к зачету

Модуль 1. Основы комбинированных энергетических установок. Гибридные силовые установки

1. Экологические и экономические предпосылки развития комбинированных энергоустановок.
2. Понятие комбинированной энергетической установки. Основные типы.
3. Классификация гибридных установок по степени гибридизации: MHEV, HEV, PHEV, EREV.
4. Классификация по схеме соединения компонентов: последовательная, параллельная, смешанная.
5. Классификация по типу накопителя энергии: аккумуляторные, суперконденсаторные, гибридные.
6. Двигатель внутреннего сгорания для гибридных установок: особенности (цикл Аткинсона/Миллера).
7. Тяговый электродвигатель: типы, характеристики, преимущества и недостатки.
8. Аккумуляторные батареи: типы, устройство, характеристики.
9. Система охлаждения батарей. Силовой преобразователь (инвертор). Система рекуперативного торможения.
10. Последовательная гибридная схема: принцип работы, режимы, преимущества и недостатки.
11. Параллельная гибридная схема: принцип работы, режимы, преимущества и недостатки.
12. Последовательно-параллельная (смешанная) схема: принцип работы, планетарный ряд.
13. Режимы работы гибридных установок: старт, разгон, движение, торможение, зарядка.
14. Стратегии управления гибридными силовыми установками: максимизация КПД, минимизация выбросов.
15. Алгоритмы управления: rule-based, ECMS, MPC.

Модуль 2. Комбинированные установки на базе ГТД. Энергоустановки на топливных элементах. Экономическая эффективность

16. Парогазовые установки (ПГУ): принцип работы, утилизация теплоты.

17. Циклы Ренкина на органических рабочих телах (ORC) для утилизации теплоты ДВС.
18. Турбокомпаундные системы: принцип работы, конструкция, эффективность.
19. Принцип работы топливного элемента (ТЭ). Типы ТЭ.
20. Водород как топливо: производство, хранение, безопасность.
21. Схемы гибридных установок с топливными элементами.
22. Преимущества и недостатки установок на топливных элементах. Примеры автомобилей.
23. Методика оценки экономической эффективности гибридных установок.
24. Сравнение стоимости владения гибридного и традиционного автомобиля.
25. Оценка срока окупаемости дополнительных затрат.
26. Влияние режимов эксплуатации на эффективность гибрида.
27. Перспективы развития: увеличение удельной мощности аккумуляторов, снижение стоимости, развитие зарядной инфраструктуры.
28. Тенденции развития гибридных технологий в автомобильной промышленности.
29. Прогнозы развития комбинированных энергоустановок.

7.3.2.4 Примеры практических заданий для зачета

Пример 1. Расчёт энергопотребления и запаса хода

Задание: Для гибридного автомобиля с аккумуляторной батареей ёмкостью 10 кВт·ч и расходом электроэнергии 15 кВт·ч/100 км рассчитать запас хода на электротяге. При комбинированном режиме расход топлива составляет 3 л/100 км, ёмкость топливного бака 40 л. Рассчитать комбинированный запас хода.

Пример 2. Расчёт срока окупаемости гибридной установки

Задание: Гибридный автомобиль стоит на 200 000 руб. дороже традиционного. Экономия топлива составляет 2 л/100 км. Пробег в год — 20 000 км, цена топлива — 50 руб/л. Рассчитать годовую экономию и срок окупаемости.

Пример 3. Выбор схемы гибридной установки

Задание: Для автомобиля, эксплуатируемого преимущественно в городском цикле (средняя скорость 30 км/ч, частые остановки), выбрать оптимальную схему гибридной установки. Обосновать выбор.

Пример 4. Расчёт эффективности установки на топливных элементах

Задание: Для установки на топливных элементах мощностью 100 кВт с КПД 60% рассчитать расход водорода. Теплота сгорания водорода 120 МДж/кг. Определить эквивалентный расход бензина (теплота сгорания бензина 44 МДж/кг).

Пример 5. Сравнительный анализ гибридных схем

Задание: Сравнить последовательную и параллельную гибридные схемы по критериям: КПД в городском цикле, КПД на трассе, сложность конструкции, стоимость. Сделать вывод о предпочтительной области применения каждой схемы.