

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Институт транспорта и логистики

Кафедра двигателей внутреннего сгорания

УТВЕРЖДАЮ
Директор института транспорта и логистики
Быкадоров В.В.
04 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«ВОЛНОВЫЕ ОБМЕННИКИ ДАВЛЕНИЯ»

По направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Профиль «Двигатели внутреннего сгорания»

Лист согласования рабочей программы учебной дисциплины

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Волновые обменники давления ДВС». – 45 с.

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Волновые обменники давления ДВС» разработана с учетом ФГОС ВО: Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 145.

СОСТАВИТЕЛИ:

старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Брянцев М.А.,

старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Ковтун А.С.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» 12.04 2023г., протокол № 8

Заведующий кафедрой _____ А.А.Данилейченко

Переутверждена: « _____ » _____ 202_ г., протокол № _____

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института транспорта и логистики

« 14 » 04 2023 г., протокол № 8

Председатель учебно-методической
комиссии института



Е.И.Иванова

© Брянцев М.А., Ковтун А.С., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2023 год

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель преподавания дисциплины – формирование у студентов знаний, умений и навыков по расчету, проектированию и эксплуатации систем наддува двигателей внутреннего сгорания с волновым обменником давления (ВОД). Довести до студентов современные и перспективные системы наддува ДВС в различных силовых установках при использовании теплоты отработавших газов.

Задачи изучения дисциплины - получение студентами комплекса знаний по вопросам расчета, проектирования, эксплуатации, испытаний и оценки правильности выбора основных размерных и режимных параметров систем наддува двигателей внутреннего сгорания с ВОД.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Волновые обменники давления» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, модуль профессиональных дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются:

знания разделов из профессионального, математического и естественно-научного циклов дисциплин,

умения воспользоваться имеющейся информацией для дальнейшего проектирования и расчета рабочего процесса двигателя и его систем,

навыки работы на ЭВМ, полученные при изучении курсов Информатики и Инженерной графики.

Основывается на базе дисциплин: математики, физики, информатики, основы газовой динамики комбинированных двигателей, механика жидкости и газа.

Является основой для изучения следующих дисциплин: диагностика и техобслуживание ДВС, испытания ДВС, специальные виды двигателей.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

ПК-1. Способен к конструкторской деятельности в области энергетического машиностроения	ПК-1.3. Разрабатывает, применяет энергоэффективные машины, техническую документацию, конструкторское сопровождение производства и испытаний объектов профессиональной деятельности.	знать принцип действия и конструкции волновых обменников давления, основные этапы разработки, испытаний, доводки и особенности эксплуатации двигателей внутреннего сгорания с системой наддува с ВОД; уметь выполнять расчеты элементов системы наддува с ВОД и проектировать системы наддува с ВОД с использованием ЭВМ; выполнять разборку, сборку, регулирование систем наддува с ВОД, производить оценку технического состояния элементов ВОД и системы наддува в целом. владеть навыками: составления программ расчета процессов в ВОД; проведения оптимизации процессов передачи энергии от отработавших газов к наддувочному воздуху с целью достижения прогрессивных экономических и экологических показателей в условиях ограничений
---	--	---

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	108 (Зач. ед)	108 (3 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	68	16
Лекции	34	8

Семинарские занятия		
Практические занятия	17	4
Лабораторные работы	17	4
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i>)	18	18
Самостоятельная работа студента (всего)	40	92
Форма аттестации	зачет	зачет

4.2. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Задачи курса. Краткий обзор систем наддува ДВС. Требования к системам наддува ДВС. Преимущества и недостатки различных систем наддува. Область применения различных систем наддува. Обоснование необходимости применения систем наддува с использованием энергии отработавших газов.

Тема 2. Рабочий цикл ВОД. Устройство и принцип работы волнового обменника давления. Сущность газодинамических процессов, происходящих в каналах ротора волнового обменника давления. Скорость распространения первичных волн возмущения, изменение параметров газа и воздуха в ячейках ротора волнового обменника давления. Анализ влияния конструктивных параметров волнового обменника давления на работу комбинированного ДВС.

Тема 3. Импульсные преобразователи энергии потоков ВОД. Принцип действия и основные конструктивные схемы импульсных преобразователей энергии потоков, энергетические характеристики процессов преобразования энергии, направления совершенствования.

Тема 4. Схемы и конструкции волновых обменников давления. Волновые обменники давления с односторонними рабочими циклами. Однополостные обменники давления. Волновые обменники давления со скрещающимися каналами ротора. Волновые обменники давления с двухступенчатыми циклами. Газотурбинные двигатели с волновыми компрессорами.

Тема 5. Предварительный выбор конструктивных параметров ВОД. Определение фаз газораспределения в ВОД. Расчет объема проточной части ротора волнового обменника давления. Степень использования пропускной способности ротора. Расчет среднего диаметра и длины проточной части ротора. Определение скоростного режима ВОД и углов смещения передних кромок окон ВД и НД.

Тема 6. Метод упрощенного расчета рабочего цикла ВОД. Предварительное определение сочетания режимных и конструктивных параметров ВОД, обеспечивающих реализацию комбинированным двигателем заданного режима работы.

Тема 7. Методика определения режимов совместной работы ДВС и ВОД. Согласование расходной характеристики ВОД с требуемой характеристикой комбинированного двигателя. Алгоритмы поиска условий совместной работы ДВС и ВОД.

Тема 8. Теоретические основы расчета газодинамического цикла ВОД. Определение основных газодинамических параметров рабочих тел в газовоздушных трактах комбинированного двигателя и напорнообменных каналах ротора ВОД. Влияние режимных параметров части цикла ВОД высокого давления на качество очистки и продувки напорнообменных каналов в период газообмена ВОД. Расчет остаточного давления и параметров наддува ДВС. Согласование расходных характеристик ДВС и ВОД.

Тема 9. Влияние режимных и конструктивных параметров на показатели работы ВОД. Влияние сопротивления трактов низкого давления на работу двигателя с ВОД, влияние разрежения на впуске и противодавления на выпуске, влияние частоты вращения ротора, влияние соотношения угловых размеров окон ВОД, влияние числа каналов в ярусе ротора.

Тема 10. Основные направления совершенствования ВОД. Вопросы технологичности элементов ВОД. Схемы систем и конструкции устройств интенсификации продувки каналов ротора ВОД. Основные направления совершенствования ВОД.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Тема 1. Задачи курса. Краткий обзор систем наддува ДВС.	3	2
2	Тема 2. Рабочий цикл ВОД.	4	
3	Тема 3. Импульсные преобразователи энергии потоков ВОД.	3	
4	Тема 4. Схемы и конструкции волновых обменников давления.	3	1
5	Тема 5. Предварительный выбор конструктивных параметров ВОД.	3	
6	Тема 6. Метод упрощенного расчета рабочего цикла ВОД	4	2
7	Тема 7. Методика определения режимов совместной работы ДВС и ВОД	4	1
8	Тема 8. Теоретические основы расчета газодинамического цикла ВОД.	3	1
9	Тема 9. Влияние режимных и конструктивных параметров на показатели работы ВОД	4	1
10	Тема 10. Основные направления совершенствования ВОД.	3	
	Итого:	34	8

4.4. Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Выбор основных конструктивных параметров ВОД	2	1
2	Расчет фаз газораспределения ВОД	2	
3	Расчет на прочность элементов ВОД	2	1
4	Определение требуемых объемов газораспределительных трактов ДВС	2	
5	Расчет скоростного режима ротора ВОД	2	1
6	Газодинамический расчет системы воздухообеспечения ДВС с ВОД	3	
7	Уточнение размеров конструктивных элементов ВОД	4	1
	Итого:	17	4

4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Разборка и сборка волнового обменника давления	2	1
2	Ознакомление с методами испытаний ДВС с ВОД	3	
3	Снятие скоростных характеристик комбинированного двигателя	3	1
4	Анализ параметров двигателя, работающего по	3	

	скоростной характеристике		
5	Снятие нагрузочных характеристик комбинированного двигателя	2	1
6	Анализ параметров двигателя, работающего по нагрузочной характеристике	2	
7	Оценка влияния режимных параметров ВОД на эффективные показатели комбинированного ДВС	2	1
	Итого:	17	4

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1.	Краткий обзор систем наддува ДВС.	работа с лекциями и учебной литературой	1	4
2.	Рабочий цикл ВОД.	работа с лекциями и учебной литературой		4
3.	Импульсные преобразователи энергии потоков ВОД.	работа с лекциями и учебной литературой	1	3
4.	Схемы и конструкции волновых обменников давления.	работа с лекциями и учебной литературой		3
5.	Предварительный выбор конструктивных параметров ВОД.	работа с лекциями и учебной литературой	1	3
6.	Метод упрощенного расчета рабочего цикла ВОД	работа с лекциями и учебной литературой	1	3
7.	Методика определения режимов совместной работы ДВС и ВОД	работа с лекциями и учебной литературой	1	3
8.	Теоретические основы расчета газодинамического цикла ВОД.	работа с лекциями и учебной литературой	1	3
9.	Влияние режимных и конструктивных параметров на показатели работы ВОД	работа с лекциями и учебной литературой	1	3
10.	Основные направления совершенствования ВОД.	работа с лекциями и учебной литературой	1	3
11.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 1	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	3
12.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 2	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	3
13.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 3	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	3
14.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 4	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	3

15.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 5	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	3
16.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 6	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	3
17.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 7	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	3
18.	Выбор основных конструктивных параметров ВОД	выполнение и защита практических работ	1	3
19.	Расчет фаз газораспределения ВОД	выполнение и защита практических работ	1	3
20.	Расчет на прочность элементов ВОД	выполнение и защита практических работ	1	3
21.	Определение требуемых объемов газораспределительных трактов ДВС	выполнение и защита практических работ	1	3
22.	Расчет скоростного режима ротора ВОД	выполнение и защита практических работ	1	3
23.	Газодинамический расчет системы воздухообеспечения ДВС с ВОД	выполнение и защита практических работ	1	3
24.	Уточнение размеров конструктивных элементов ВОД	выполнение и защита практических работ	1	3
25.	Расчет основных конструктивных параметров волнового обменника давления	выполнение индивидуального задания	18	18
Итого:			40	92

4.7. Курсовые работы/проекты

Не предусмотрены учебным планом.

5. Образовательные технологии

В процессе обучения для достижения планируемых результатов освоения дисциплины используются следующие образовательные технологии:

- традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;
- информационно-коммуникационная технология, в том числе визуализация, создание электронных учебных материалов;
- использование электронных образовательных ресурсов при подготовке к лекциям, практическим и лабораторным занятиям;
- технология проблемного обучения, в том числе в рамках разбора проблемных ситуаций;
- технология развивающего обучения, в том числе постановка и решение задач от менее сложных к более сложным, развивающих компетенции студентов.

В рамках перечисленных технологий основными методами обучения являются: работа в команде; самостоятельная работа; проблемное обучение.

6. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Волновые обменники давления в системах наддува двигателей внутреннего сгорания [Текст]: монография / А. И. Крайнюк [и др.]; М-во образования и науки Украины, Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. - Луганск: Ноулидж, 2013. - 155 с. - 40 грн.

2. Крайнюк А. И. Системы газодинамического наддува [Текст]: монография / А. И. Крайнюк, Ю. В. Сторчеус; М-во образования и науки Украины, Восточноукр. гос. ун-т. - Луганск: ВУГУ, 2000. - 224 с. - ISBN 966-590-102-8: 5 грн.

3. Данилейченко А.А. Исследование физической сущности процессов трансформации энергии в агрегатах непосредственного взаимодействия газозвудушных сред на транспорте: Монография./ Данилейченко А.А., Брянцев М.А. // - Луганск: из-во ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В.Даля», 2023. – 216 с. - ISBN 978-5-6050795-3-8: -155 руб.

б) дополнительная литература:

4. Строгалев, В. П. Основы прикладной газовой динамики : учебное пособие / В. П. Строгалев, И. О. Толкачева, Н.В. Быков. - Москва : МГТУ им. Баумана, 2014. - 174 с. - ISBN 978-5-7038-3980-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1953631> (дата обращения: 25.01.2024).

5. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа [Текст] : учебник / Л. Г. Лойцянский. - 7-е изд., испр. - Москва : Дрофа, 2003. - 840 с. - (Классики отечественной науки). - 160 р. Крайнюк А.И., Сторчеус Ю. В. Системы газодинамического наддува. Монография. - Луганск: изд-во ВНУ, 2000. -224с.

6. Ляшков, В. И. Нагнетатели, тепловые двигатели и термотрансформаторы в системах энергообеспечения предприятий : учебное пособие / В.И. Ляшков. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 218 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/22122. - ISBN 978-5-16-012314-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1938027> (дата обращения: 25.01.2024).

7. Двигатели внутреннего сгорания : системы поршневых и комбинированных двигателей [Текст] : учебник / С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1985. - 456 с. - 2 р.

8. Двигатели внутреннего сгорания. В 4 т. Т. 3. Конструкция и расчет поршневых и комбинированных двигателей [Текст] : учебник / А. С. Орлин [и др.]; под ред. А. С. Орлина. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1972. - 464 с. - Загл. корешка: Конструкция и расчет двигателей. - 1 р. 22 к.

9. Двигатели внутреннего сгорания : устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей [Текст] : учебник / В. П. Алексеев, В. Ф. Воронин, Л. В. Грехов; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 4-е изд, перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1990. - 288 с. - ISBN 5-217-00117-8 : 1 р. 20 к..

10. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов [Текст] : учебник / [В. Н. Луканин, К. А. Морозов, А. С. Хачиян и др.] ; под ред. В. Н. Луканина. - Москва : Высшая школа, 1995. - 368 с. - ISBN 5-06-003298-1. - ISBN 5-06-003295-7 (в пер.) : 14 грн. 34 к.

11. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика [Текст] : учебник / Г. Н. Абрамович. - 4-е изд., перераб. - Москва : Наука, 1976. - 888 с. - 1 р. 92 к.

12. Кутищев М. А. Проектирование газозвудушного тракта поршневых машин [Текст] : монография / М. А. Кутищев. - К. ; Донецк : Вища школа, 1977. - 124 с. - 95 к.

13. Дмитренко, А. В. Нагнетатели и тепловые двигатели : учебно-методическое пособие к курсовой работе по дисциплине «Нагнетатели и тепловые двигатели» / А. В. Дмитренко. - Москва : РУТ (МИИТ), 2018. - 37 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1895118> (дата обращения: 25.01.2024).

14. Автомобильные двигатели с турбонаддувом [Текст] / Н. С. Ханин, Э. В. Аболтин, Б. Ф. Лямцев. - Москва : Машиностроение, 1991. - 336 с. - 4 р 50 к.

в) методические указания:

15. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Волновые обменники давления» для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» [Электронный ресурс] / сост. М. А. Брянцев. - Луганск : ЛНУ им. В. Даля, 2019. - 50 с.

16. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Волновые обменники давления» [Электронный ресурс] : для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» / сост. М. А. Брянцев. - Луганск : ЛНУ им. В. Даля, 2018. - 20 с.

17. Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Волновые обменники давления» [Электронный ресурс] : для студентов профиля «Двигатели внутреннего сгорания» / сост. М. А. Брянцев. - Луганск : ЛНУ им. В. Даля, 2018. - 26 с.

г) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

Электронно-библиотечная система «Консультант-студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

7. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Лекционные занятия проводятся в академических аудиториях.

Освоение дисциплины предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Практические занятия: проводятся с использованием раздаточного материала, наглядных пособий, демонстрационных плакатов. Прочее: комплект электронных раздаточных материалов выдается студентам в электронной форме.

Лабораторные работы: лаборатория ДВС, оснащенная специализированными лабораторными стендами (Стенд «Всетин» с ДВС, стенды с дизелями 5Д2, 6ЧН12/14, 1Ч12/14, 5Д4, стенд СДТА, стенд «Motorpal», стенд с ДВС 4ЧН8,5/11 с волновым обменником давления, наглядное пособие двигатель ТВЗ-117 и СПГГ, лабораторные стенды 1, 2, 3, 4 по теплотехнике, лабораторное контрольно-измерительное оборудование, наглядные пособия), плакаты со схемами лабораторных работ, шаблоны отчетов по лабораторным работам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет (комплект электронных раздаточных материалов выдается студентам в электронной форме).

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
---------------------------	------------------------------------	--------

Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Паспорт оценочных средств по учебной дисциплине «Волновые обменники давления»

Описание уровней сформированности и критериев оценивания компетенций на этапах их формирования в ходе изучения дисциплины

Этап	Код компетенции	Уровни сформированности компетенции	Критерии оценивания компетенции
Начальный	ПК-1. Способен к конструкторской деятельности в области энергетического машиностроения	Базовый	знать принцип действия и конструкции волновых обменников давления, основные этапы разработки, испытаний, доводки и особенности эксплуатации двигателей внутреннего сгорания с системой наддува с ВОД
Основной		Повышенный	уметь выполнять расчеты элементов системы наддува с ВОД и проектировать системы наддува с ВОД с использованием ЭВМ; выполнять разборку, сборку, регулирование систем наддува с ВОД, производить оценку технического состояния элементов ВОД и системы наддува в целом

Заключительный		Высокий	владеть навыками: составления программ расчета процессов в ВОД; проведения оптимизации процессов передачи энергии от отработавших газов к наддувному воздуху с целью достижения прогрессивных экономических и экологических показателей в условиях ограничений
-----------------------	--	----------------	--

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции реализуемой дисциплине) (по	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Этапы формирования (семестр изучения)
1.	ПК-1	Способен к конструкторской деятельности в области энергетического машиностроения	ПК-1.3. Разрабатывает, применяет энергоэффективные машины, техническую документацию, конструкторское сопровождение производства и испытаний объектов профессиональной деятельности.	Тема 1. Задачи курса. Краткий обзор систем наддува ДВС.	6/7
				Тема 2. Рабочий цикл ВОД.	
				Тема 3. Импульсные преобразователи энергии потоков ВОД.	
				Тема 4. Схемы и конструкции волновых обменников давления.	
				Тема 5. Предварительный выбор конструктивных параметров ВОД.	
				Тема 6. Метод упрощенного расчета рабочего цикла ВОД	
				Тема 7. Методика определения режимов совместной работы ДВС и ВОД	
				Тема 8. Теоретические основы расчета газодинамического цикла ВОД.	
				Тема 9. Влияние режимных и конструктивных параметров на показатели работы ВОД	
				Тема 10. Основные направления совершенствования ВОД.	

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции реализуемой дисциплине) (по	Перечень планируемых результатов	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ПК-1	ПК-1.3. Разрабатывает, применяет энергоэффективные	знать принцип действия и конструкции волновых обменников давления, основные этапы	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4,	Практическая работа, лаборатор

		машины, техническую документацию, конструкторское сопровождение производства и испытаний объектов профессиональной деятельности.	разработки, испытаний, доводки и особенности эксплуатации двигателей внутреннего сгорания с системой наддува с ВОД; уметь выполнять расчеты элементов системы наддува с ВОД и проектировать системы наддува с ВОД с использованием ЭВМ; выполнять разборку, сборку, регулирование систем наддува с ВОД, производить оценку технического состояния элементов ВОД и системы наддува в целом. владеть навыками: составления программ расчета процессов в ВОД; проведения оптимизации процессов передачи энергии от отработавших газов к наддувочному воздуху с целью достижения прогрессивных экономических и экологических показателей в условиях ограничений	Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 10, Тема 11	-ная работа, контрольная работа, индивидуальное задание
--	--	--	--	---	---

Диагностическое контрольное тестирование:

Комплект тестовых заданий, позволяющих осуществить оценку компетенции

ПК-1. Способен к конструкторской деятельности в области энергетического машиностроения	ПК-1.3. Разрабатывает, применяет энергоэффективные машины, техническую документацию, конструкторское сопровождение производства и испытаний объектов профессиональной деятельности.
--	---

образовательной программы 13.03.03 Энергетическое машиностроение, профиль «Двигатели внутреннего сгорания» дисциплина «Волновые обменники давления»

ВАРИАНТ 1

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 1.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

К какому типу машин не относится волновой обменник давления с точки зрения процесса сжатия рабочего тела?

- 1) приводного объемного.
- 2) приводного динамического.
- 3) бесприводного газодинамического.
- 4) прямого преобразования энергии рабочих тел.
- 5) лопаточного.

Ответ: 1235

Обоснование: в волновом обменнике происходит прямое преобразование энергии горячего рабочего тела в энергию потенциальную энергию давления сжатой среды посредством газодинамических волн, т.е. волновой обменник относится к агрегатам прямого преобразования энергии рабочих тел. Вращение ротора обеспечивает коммутацию ячеек и газообменных окон.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 2.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Какие из перечисленных элементов имеются в конструкции волнового обменника давления?

- 1) ротор.
- 2) шайба с газообменными каналами.
- 3) статор.
- 4) подшипники.
- 5) торцевые шайбы.

Ответ: 1345

Обоснование: в конструкции волнового обменника шайба с газообменными каналами отсутствует.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 3.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Что не является энергетическим источником продувочного импульса ячеек ротора волнового обменника давления?

- 1) остаточное давление в ячейке в момент, предшествующий ее сообщению с окном подвода низкого давления.
- 2) давление во фронте волны сжатия, распространяющейся по ячейке, при её сообщении с окном подвода высокого давления.
- 3) кинетическая энергия вращения ротора.
- 4) давление, создаваемое продувочным вентилятором.
- 5) давление сжимаемого рабочего тела.

Ответ: 2345

Обоснование: начальный продувочный импульс в ячейке формируется за счет перепада давлений между ячейкой и окном отвода газа низкого давления. Давление в ячейке к этому моменту и является остаточным давлением.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 4.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Увеличение остаточного давления в ячейке ротора волнового обменника давления сопровождается:

- 1) увеличением адиабатного КПД и продувочного импульса ячейки.
- 2) увеличением продувочного импульса ячейки.
- 3) увеличением адиабатного КПД и снижением продувочного импульса ячейки.
- 4) снижением адиабатного КПД.

5) увеличением степени повышения давления сжимаемого рабочего тела.

Ответ: 24

Обоснование: с возрастанием остаточного давления в ячейке начальный продувочный импульс возрастает, при этом доля энергии горячего газа, расходуемая на сжатие воздушного заряда уменьшается и, следовательно, снижается давление сжатого рабочего тела и КПД волнового обменника.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 5.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

В каком диапазоне лежат средние значения номинальной частоты вращения ротора волнового обменника давления?

- 1) 2000...3000 об/мин.
- 2) 4000...6000 об/мин.
- 3) 7000...16000 об/мин.
- 4) 18000...25000 об/мин.
- 5) 30000...50000 об/мин.

Ответ: 3

Обоснование: осевые габариты обменников давления связаны со скоростью распространения газодинамических волн и частотой вращения ротора. Диапазону 7-16 тыс. мин⁻¹ соответствуют габаритные размеры обменников, удовлетворяющие требованиям компактности и массогабаритным требованиям при размещении волнового обменника например на силовой установке транспортного средства.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 6.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Максимальные значения общего КПД волнового обменника достигают:

- 1) 0,2...0,3.
- 2) 0,45...0,57.
- 3) 0,65...0,7.
- 4) 0,73...0,78.
- 5) 0,8...0,85.

Ответ: 2

Обоснование: таковы статистические данные достигнутых значений эффективности волновых обменников различных конструкций и габаритных размеров, указанные в многочисленных научных работах широкого круга исследователей.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 7.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Как изменяется угол относительного смещения передних кромок окон высокого давления волнового обменника при увеличении частоты вращения ротора и неизменных других параметрах?

- 1) линейно возрастает.
- 2) возрастает по квадратной параболе.

- 3) линейно уменьшается.
- 4) уменьшается по гиперболе.
- 5) не изменяется.

Ответ: 1

Обоснование: в формулу углового смещения передних кромок окон высоко давления частота вращения ротора входит в числитель в первой степени, следовательно, указанная зависимость является линейной.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 8.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Какое из газообменных окон волнового обменника имеет наибольший размер?

- 1) отвода высокого давления.
- 2) отвода низкого давления.
- 3) подвода высокого давления.
- 4) подвода низкого давления.
- 5) все окна одинакового размера.

Ответ: 2

Обоснование: окна низкого давления обеспечивают продувку ячеек ротора. Для осуществления качественной продувки ячеек необходимо достаточное время, а следовательно, и относительно большой угловой размер окон низкого давления. При этом в силу наличия фаз смещения в окнах низкого давления, угловой размер окна отвода газа всегда превышает аналогичный параметр окна подвода воздуха.

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности движется сжимающая среда (горячий газ) в волновом обменнике давления прямоточного типа?

- 1) через окно газа высокого давления (ГВД) в ячейки ротора.
- 2) через окно ОНД в патрубок газа низкого давления (ГНД).
- 3) из патрубка ГНД в атмосферу.
- 4) от источника подвода тепла в патрубок подвода высокого давления (ПВД).
- 5) из ячеек ротора в окно отвода низкого давления (ОНД).

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

4	1	5	2	3
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности движется сжимаемая среда (холодный воздух) в волновом обменнике давления прямоточного типа?

- 1) из ячеек ротора в окно воздуха высокого давления (ВВД).
- 2) через окно ВВД в патрубок отвода высокого давления (ОВД).
- 3) через окно воздуха низкого давления (ВНД) в ячейки ротора.
- 4) из патрубка ОВД на линию нагнетания.
- 5) нагнетается продувочным вентилятором в патрубок подвода низкого давления (ПНД).

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

5	3	1	2	4
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности распространяются газодинамические волны в ячейке ротора волнового обменника при согласованной настройке частоты вращения, угловых смещений окон и параметров сжимающей среды?

- 1) волна разрежения, движущаяся от окна ГВД к окну ВВД.
- 2) ударная волна, распространяющаяся от окна ГВД к окну ВВД, и сжимающая неподвижный воздух в ячейке.
- 3) волна сжатия, образующаяся после отключения ячейки от окна ВВД, движущаяся от окна ВВД к окну ГНД.
- 4) волна разрежения, распространяющаяся от окна ГНД к окну ВВД.
- 5) отраженная от окна ВВД волна давления или разрежения, движущаяся к окну ГВД.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

2	5	1	3	4
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности распространяются газодинамические волны в ячейке ротора волнового обменника с карманами при занижении частоты вращения ротора относительно расчетного значения?

- 1) образование обводного потока, поддерживающего продувочный импульс в ячейке ротора.
- 2) формирование волны разрежения, распространяющейся от задней кромки окна ГВД к окну ВВД.
- 3) ударная волна распространяется от окна ГВД к окну ВВД и приходит к торцу ротора раньше его сообщения с окном ВВД.
- 4) образование волны разрежения, распространяющейся от передней кромки окна ГНД к расширительному карману.
- 5) в компрессионном кармане создается избыточное давление и формируется отраженная волна сжатия, распространяющаяся к окну ГВД.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

3	5	2	4	1
---	---	---	---	---

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между указанными элементами системы наддува ДВС с волновым обменником давления и их назначением.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия			
А	Пусковой клапан	1	Снижение времени отклика	волнового	

			обменника по увеличению давления наддува на неустановившихся режимах двигателя.
Б	Регулировочный клапан	2	Удаление прорвавшихся в картер двигателя газов и отвод их в выпускную систему обменника.
В	Эжектор картерных газов	3	Подвод воздуха в цилиндры ДВС через байпасный канал от воздухоочистителя или непосредственно из атмосферы. Предотвращение попадания отработавших газов во впускной коллектор на пусковых режимах при недостаточной продувке ячеек ротора.
Г	Заслонка впускного тракта волнового обменника давления	4	Регулирование рециркуляции отработавших газов с целью снижения эмиссии NO_x .
		5	Ограничение давления наддува при полной нагрузке путем перепуска части сжимающего горячего газа из линии ПВД в выпускной тракт волнового обменника давления.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
3	5	2	4

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между изменением режимных параметров и их влиянием на показатели рабочего процесса волнового обменника давления

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Повышение температуры атмосферного воздуха	1	Ухудшение продувки ячеек. Уменьшение массового заряда цилиндров ДВС, повышение его температуры.
Б	Увеличение разрежения на впуске и противодействия выпуска	2	Существенное ухудшение показателей работы обменника, вызванное рассогласованием фаз движения газодинамических волн с окнами низкого и высокого давления.
В	Повышение объёмной пропускной способности ротора	3	Увеличение давления наддува и адиабатного КПД обменника при неизменном уровне остаточного давления в ячейках ротора.
Г	Отклонение частоты вращения ротора от расчетного значения	4	Возрастание затрат энергии на сжатие воздуха. Снижение плотности и расхода наддувочного воздуха на выходе из окна ВВД
		5	Неоднозначное влияние на эффективные показатели рабочего цикла обменника. Наличие ярко выраженного экстремума адиабатного КПД.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
4	1	5	2

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между изменением конструктивных параметров и их влиянием на показатели рабочего процесса волнового обменника давления

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Уменьшение угловых размеров окон ВВД и ГВД	1	Повышение КПД и расширение области эффективной работы в направлении номинального режима ДВС. Незначительное снижение степени повышения давления.
Б	Уменьшение площади проходного сечения окна ГВД	2	Увеличение скорости потока в окне ВВД, снижение расхода и давления сжатого воздуха, повышение остаточного давления и улучшение продувки ячеек ротора на режимах полных и средних нагрузок.
В	Увеличение отношения углового смещения передних кромок окон высокого давления к угловому размеру окна ВВД	3	До определенного момента увеличивается КПД обменника. Интенсификация первичной волны разрежения. Увеличение потерь на трение по длине канала. Усиление подогрева воздушного заряда от стенок ячеек.
Г	Увеличение числа ячеек ротора	4	Увеличение качества продувки ячеек на фоне повышения напорности и КПД обменника.
		5	Возрастание давления и скорости истечения горячего газа, расхода и давления наддувочного воздуха. С некоторого момента снижается КПД.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	5	1	3

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 16.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Определить площадь окна ВВД, если угол раскрытия окна равен 40° , а площадь кольцевого сечения торца ротора волнового обменника между внутренним и наружным диаметрами равна 314 см^2 .

Ответ (решение): т.к. окна волнового обменника имеют форму кругового сектора с центральным углом φ , то площадь окна ВВД с центральным углом φ_2 определяется из пропорции

$$F_2 = F_R \frac{\varphi_2}{360^\circ} = 314 \frac{40^\circ}{360^\circ} = 34,9 \text{ см}^2.$$

Площадь окна ВВД равна $34,9 \text{ см}^2$.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 17.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Каким должно быть угловое смещение передних кромок окон высокого давления $\Delta\varphi_{1-2}$ для волнового обменника давления с длиной ротора $L_R = 150$ мм, если на данном режиме скорость распространения вдоль ячеек первичной волны давления $D_1 = 435$ м/с, а частота вращения ротора $n_R = 7000$ об/мин.

Ответ (решение): условием выбора углового смещения передних кромок окон высокого давления является подход первичной волны сжатия к окну ГВД в момент когда рассматриваемая ячейка повернется на искомый угол $\Delta\varphi_{1-2}$. С этого момента начнется сообщение ячейки с окном ГВД. Математически это условие выражается в равенстве времени поворота ротора на угол $\Delta\varphi_{1-2}$ и времени прохождения ударной волны длины ячейки

$$t = \frac{\Delta\varphi_{1-2}}{\omega_R} = \frac{L_R}{D_1},$$

где $\Delta\varphi_{1-2}$ берется в радианной мере: $\Delta\varphi_{1-2} [\text{рад}] = \Delta\varphi_{1-2} [\text{град}] \cdot \pi/180$.

Учитывая, что угловая скорость и частота вращения связаны соотношением

$$\omega_R = \frac{\pi \cdot n_R}{30}.$$

Окончательно искомое угловое смещение в градусной мере определяется по формуле

$$\Delta\varphi_{1-2} = 6 \frac{L_R \cdot n_R}{D_1} = \frac{6 \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot 7000}{435} = 14,48^\circ$$

Угловое смещение передних кромок окон высокого давления должно быть равно $14,48^\circ$.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 18.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Определить массовый расход наддувочного воздуха, создаваемый волновым обменником, если угол раскрытия окна ВВД равен 36° , наружный диаметр ротора $D_H = 140$ мм, внутренний диаметр $D_B = 70$ мм, степень повышения давления $\pi_K = 1,73$, давление атмосферного воздуха $p_0 = 100$ кПа, температура наддувочного воздуха $t_2 = 160$ °С, средняя скорость потока через окно ВВД $u_2 = 75$ м/с.

Ответ (решение): по определению массового расхода сплошной среды

$$G_2 = \rho_2 \cdot u_2 \cdot F_2.$$

Т.к. при давлениях и температурах в цикле волнового обменника давления рабочие тела можно считать идеальными газами. Плотность ρ_2 наддувочного воздуха определяется из уравнения состояния идеального газа по температуре t_2 и давлению p_2 наддувочного воздуха, сжимаемого в обменнике

$$\rho_2 = \frac{p_2}{R_B T_2} = \frac{\pi_K \cdot p_0}{R_B (t_2 + 273)} = \frac{1,73 \cdot 100}{0,287(160 + 273)} = 1,39 \text{ кг/м}^3,$$

где $R_B = 0,287$ кДж/кгК – газовая постоянная воздуха.

Площадь окна ВВД определяется по формуле кругового сектора с центральным углом φ_2

$$F_2 = \pi \frac{D_H^2 - D_B^2}{4} \frac{\varphi_2}{360} = 3,14 \frac{14^2 - 7^2}{4} \frac{36}{360} = 11,54 \text{ см}^2.$$

Массовый расход сжатого воздуха через окно ВВД

$$G_2 = \rho_2 \cdot u_2 \cdot F_2 = 1,39 \cdot 75 \cdot 11,54 \cdot 10^{-4} = 0,12 \text{ кг/с}.$$

Массовый расход наддувочного воздуха равен $0,12$ кг/с.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 19.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Вычислить объемную пропускную способность ротора волнового обменника при частоте вращения $n_R = 9200 \text{ мин}^{-1}$. Наружный диаметр $D_H = 200 \text{ мм}$, внутренний диаметр $D_B = 110 \text{ мм}$, длина ротора $L_R = 140 \text{ мм}$, толщина перегородок $\delta = 1,5 \text{ мм}$, число ячеек $Z = 50$ штук.

Ответ (решение): объемная пропускная способность ротора – это произведение объема V_R проточной части ротора на частоту вращения

$$W_R = V_R \cdot n_R.$$

Объем проточной части ротора является разностью кольцевого объема между внутренним и наружным цилиндром и суммарным объемом радиальных перегородок, образующих ячейки

$$V_R = \pi \frac{D_H^2 - D_B^2}{4} \cdot L_R - \frac{D_H - D_B}{2} \cdot \delta \cdot Z = 3,14 \frac{20^2 - 11^2}{4} \cdot 14 - \frac{20 - 11}{2} \cdot 0,15 \cdot 50 = 3032 \text{ см}^3.$$

При частоте вращения 9200 об/мин W_R равна

$$W_R = V_R \cdot n_R = \frac{3032 \cdot 10^{-6} \cdot 9200}{60} = 0,4649 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемная пропускная способность ротора волнового обменника при частоте вращения 9200 об/мин составляет 0,4649 м³/с (27,89 м³/мин или 464,9 л/с).

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 20.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Какую работу необходимо совершить, чтобы изначально неподвижный ротор волнового обменника привести во вращение с частотой 15000 мин⁻¹. Момент инерции ротора относительно оси вращения $J_R = 0,012 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Трением о воздух и в подшипниковом узле пренебречь.

Ответ (решение): работу привода можно определить по теореме об изменении кинетической энергии тела, согласно которой это изменение равно сумме работ внутренних i -тых и внешних j -тых сил, действующих на тело

$$\Delta E_R = \sum A_i + \sum A_j.$$

Т.к. по условию задачи механическое сопротивление вращению ротора не оказывается, то работы сил трения о воздух и в подшипниках равны нулю. Приложенная к валу механическая энергия в виде работы привода полностью идет на увеличение кинетической энергии ротора

$$\Delta E_R = A_{\text{пр}}$$

Поскольку ротор обменника изначально не вращался, то приращение кинетической энергии равно кинетической энергии на конечной заданной частоте вращения 15000 мин⁻¹

$$\Delta E_R = E_R$$

Кинетическая энергия вращения твердого тела определяется уравнением

$$E_R = \frac{J_R \cdot \omega^2}{2} = \frac{J_R}{2} \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 = \frac{0,012}{2} \left(\frac{3,14 \cdot 15000}{30} \right)^2 = 14789 \text{ Дж}.$$

Работа привода $A_{\text{пр}}$, которую необходимо затратить для разгона ротора волнового обменника от неподвижного состояния до 15000 об/мин составляет 14789 Дж.

КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 1

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	1235	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	1345	1б – полное правильное соответствие

		06 – остальные случаи
3.	2345	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
4.	24	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
5.	3	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
6.	2	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
7.	1	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
8.	2	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
9.	41523	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
10.	53124	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
11.	25134	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
12.	35241	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
13.	A3B5B2Г4	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
14.	A4B1B5Г2	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
15.	A2B5B1Г3	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
16.	Площадь окна ВВД равна 34,9 см ² .	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
17.	Угловое смещение передних кромок окон высокого давления равно 14,48°.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
18.	Массовый расход наддувочного воздуха равен 0,12 кг/с.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
19.	Объёмная пропускная способность ротора волнового обменника при частоте вращения 9200 об/мин составляет 0,4649 м ³ /с (27,89 м ³ /мин или 464,9 л/с).	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
20.	Работа привода А _{пр} , которую необходимо затратить для разгона ротора волнового обменника от неподвижного состояния до 15000 об/мин составляет 14789 Дж.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

Шкала оценивания теста

шкала оценивания	интервал баллов
5	27-30
4	21-26
3	14-20

шкала оценивания	интервал баллов
2	0-13

ВАРИАНТ 2

Задание с выбором ответа

базовый уровень

Задание 1.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Вращение ротора волнового обменника является:

- 1) основным рабочим движением, за счет которого осуществляется сжатие холодного рабочего тела.
- 2) вспомогательным движением, энергия которого используется для продувки ячеек ротора.
- 3) вспомогательным движением, при котором осуществляется коммутация газообменных окон статора и ячеек ротора.
- 4) движением, вызванным расширением горячего рабочего тела в ячейках ротора.
- 5) вспомогательным движением, обеспечивающим осуществление продувки ячеек ротора.

Ответ: 35

Обоснование: с точки зрения преобразования первичной энергии для конечного получения сжатого рабочего тела волновой обменник является неприводной машиной, сжатие рабочего тела в ячейках осуществляется не за счет энергии вращения ротора, а за счет энергии потока горячего газа. Вращение ротора обеспечивает своевременную коммутацию ячеек, необходимую для обеспечения согласованного взаимодействия волн в активной и пассивной газовых рабочих средах, при котором осуществляется отвод сжатого воздуха на линию нагнетания, а также продувка ячеек ротора от расширившегося отработавшего газа.

Задание с выбором ответа

базовый уровень

Задание 2.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Какие из газообменных окон волнового обменника имеют наименьший размер?

- 1) отвода высокого давления и подвода высокого давления.
- 2) отвода низкого давления и подвода высокого.
- 3) подвода низкого давления и отвода высокого давления.
- 4) отвода высокого давления.
- 5) все окна примерно одинакового размера.

Ответ: 14

Обоснование: угловые размеры окон высокого давления в волновом обменнике в среднем в 2-3 раза меньше соответствующих параметров окон низкого давления. При этом окно отвода высокого давления всегда меньше окна подвода высокого давления на 15-25% в существующих конструкциях волновых обменников.

Задание с выбором ответа

базовый уровень

Задание 3.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Увеличение температуры рабочего тела в окне отвода низкого давления свидетельствует о:

- 1) повышении адиабатного КПД и производительности волнового обменника
- 2) уменьшении напорности обменника.
- 3) снижении потенциальной энергии давления сжатого воздуха.

- 4) увеличении степени расширения сжимающей среды.
- 5) снижении КПД обменника.

Ответ: 235

Обоснование: с повышением температуры газа в окне отвода низкого давления увеличивается его внутренняя энергия, а, следовательно, уменьшается доля энергии потока газа, пошедшая на сжатие холодного рабочего тела. При этом уменьшается степень повышения давления в волновом обменнике давления (напорность обменника) и, соответственно, располагаемая работа (потенциальная энергия давления) сжатого рабочего тела.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 4.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Интенсификации продувки ячеек ротора волнового обменника давления с карманами на нерасчетных режимах способствует:

- 1) продувочный вентилятор.
- 2) расширительный карман.
- 3) компрессионный карман.
- 4) торцевые кромки перегородок ячеек.
- 5) газовый карман.

Ответ: 25

Обоснование: продувочный вентилятор обеспечивает продувку на всех режимах работы волнового обменника; интенсификации же продувки на нерасчетных режимах способствуют только расширительный и газовый карманы, отвечающие за картину волновых процессов в линии низкого давления. Компрессионный канал снижает диссипативные явления при взаимодействии потоков газовых сред на линии высокого давления на нерасчетных режимах; равно как и торцевые кромки перегородок ячеек, компрессионный карман не влияет на интенсификацию продувки ячеек ротора.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 5.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Как изменяется критерий S_{Rel} при увеличении центрального угла φ_1 (углового размера) окна подвода высокого давления?

- 1) возрастает линейно.
- 2) убывает линейно.
- 3) увеличивается по квадратной параболе.
- 4) увеличивается по экспоненте с показателем φ_1 .
- 5) не изменяется.

Ответ: 5

Обоснование: критерий подобия S_{Rel} не зависит от углового размера окна подвода высокого давления.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 6.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Как изменяется производительность волнового обменника давления с увеличением длины ротора?

- 1) линейно возрастает.
- 2) линейно убывает.
- 3) не изменяется.
- 4) возрастает по степенной зависимости с показателем $1/2$.
- 5) убывает по гиперболе.

Ответ: 3

Обоснование: производительность (расход сжатого рабочего тела) волнового обменника определяется частотой вращения и фронтальными габаритами ротора (площадью проходного сечения проточной части ротора). Длина ротора непосредственно на производительность обменника не влияет.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 7.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

При каких значениях критерия S_{Rel} достигается максимальная эффективность рабочего процесса волнового обменника?

- 1) 0,32...0,36.
- 2) 0,05...0,1.
- 3) 0,8...0,9.
- 4) 1,2...1,3.
- 5) 6...13.

Ответ: 1

Обоснование: указанный диапазон подтвержден многочисленными экспериментальными и расчетными исследованиями.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 8.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

До каких температур ($^{\circ}\text{C}$) атмосферный нагревается воздух, сжимаемый в ячейках ротора волнового обменника давления?

- 1) 50...80.
- 2) 90...110.
- 3) 120...150.
- 4) 160...180.
- 5) 200...250.

Ответ: 4

Обоснование: согласно результатам экспериментальных исследований, выполненных для большого количества опытных образцов волновых обменников давления.

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности движется сжимающая среда (горячий газ) в волновом обменнике давления обратноточного типа?

- 1) через окно газа высокого давления (ГВД) в ячейки ротора.
- 2) через окно ОНД в патрубок газа низкого давления (ГНД).
- 3) от источника подвода тепла в патрубок подвода высокого давления (ПВД)
- 4) остановка потока; изменение направления движения на обратное: из ячеек ротора в окно отвода низкого давления (ОНД).
- 5) из патрубка ГНД в атмосферу.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

3	1	4	2	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности движется сжимаемая среда (холодный воздух) в волновом обменнике давления обратноточного типа?

- 1) нагнетается продувочным вентилятором в патрубок подвода низкого давления (ПНД).
- 2) из патрубка ОВД на линию нагнетания.
- 3) остановка потока; изменение направления движения на обратное: из ячеек ротора в окно воздуха высокого давления (ВВД).
- 4) через окно воздуха низкого давления (ВНД) в ячейки ротора.
- 5) через окно ВВД в патрубок отвода высокого давления (ОВД).

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1	4	3	5	2
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности распространяются газодинамические волны в ячейке ротора волнового обменника с карманами при завышении частоты вращения ротора относительно расчетного значения?

- 1) с момента подхода кромки ячейки к начальной кромке окна ГВД формируется первичная волна разрежения, приходящая к окну ВНД с некоторым запаздыванием.
- 2) в верхней части расширительного кармана формируется волна сжатия, усиливающая продувочный импульс.
- 3) отсечная волна разрежения в момент подхода к окну ВВД смещается в направлении вращения ротора.
- 4) ударная волна распространяется в направлении от окна ГВД к окну ВВД и приходит к торцу ротора позже его сообщения с окном ВВД.
- 5) на передней кромке окна ВВД формируется зона обратного тока рабочего тела.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

4	5	3	1	2
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

В какой последовательности расположены детали обратноточного волнового обменника давления в направлении от входного патрубка осевого продувочного вентилятора?

- 1) торцевая плита с газообменными окнами сжимающей среды.
- 2) рабочее колесо продувочного вентилятора.

- 3) торцевая плита с газообменными окнами сжимаемой среды.
- 4) ротор с продольными ячейками.
- 5) обтекатель продувочного вентилятора.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

5	2	3	4	1
---	---	---	---	---

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между указанными элементами конструкции волнового обменника давления и их назначением.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Компрессионный карман	1	Интенсификация продувки ячеек повышением остаточного давления в них за счет ослабления отсечной волны разрежения.
Б	Расширительный карман	2	Уменьшение шума, излучаемого волновым обменником, за счет смещения импульсов давления на полпериода, что обеспечивает интерференцию газодинамических волн, тем самым снижая амплитуду гармоник основной частоты.
В	Газовый карман	3	Осуществление продувки на нерасчетных режимах работы обменника. Предотвращает торможение потока в ячейке при отражении первичной волны разрежения от торца статора при заниженной частоте вращения ротора.
Г	Второй (внешний) ярус ячеек ротора	4	Увеличение напорности волнового обменника снижением проходного сечения окна ОВД.
		5	Смягчение отражения первичной ударной волны от торца статора при заниженной частоте вращения ротора. Обеспечение использования энергии отраженной волны для предварительного сжатия воздуха.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
5	3	1	2

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между указанными параметрами волнового обменника давления и их определением.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Критерий подобия S_{Rel}	1	Доля суммарной торцевой площади стенок ячеек от общего проходного сечения торца ротора.
Б	Коэффициент загромождения проточной части ротора продольными перегородками	2	Степень использования пропускной способности ротора.
В	Адиабатический КПД волнового обменника	3	Произведение объема проточной части ротора на частоту вращения.
Г	Объемная пропускная способность ротора	4	Отношение адиабатной работы сжатия рабочего тела (холодного воздуха) в ячейках ротора к энтальпии потока отработавшего газа.
		5	Отношение адиабатных теплоперепадов сжимаемой (холодного воздуха) и сжимающей (горячего газа) рабочих тел.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	1	5	3

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Найти соответствие между указанными

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Коэффициент продувки ротора	1	Отношение давлений рабочих тел в окнах подвода и отвода высокого давления.
Б	Массовая пропускная способность ротора	2	Отношение давлений сжимаемой среды в окнах отвода высокого давления и подвода низкого давления.
В	Степень повышения давления	3	Произведение объема проточной части ротора, частоты вращения и плотности рабочего тела в окне подвода низкого давления.
Г	Степень расширения сжимающей среды	4	Отношение массовых расходов рабочего тела в окнах подвода низкого давления и отвода высокого давления.
		5	Отношение давлений рабочего тела в окнах подвода высокого давления и отвода низкого давления.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
4	3	2	5

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 16.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Как изменится расчетная длина ротора волнового обменника, если при прочих равных условиях частоту вращения ротора увеличить в два раза?

Ответ (решение): формула, связывающая длину L_R и частоту вращения n_R ротора с углом $\Delta\varphi_{1-2}$ относительного смещения передних кромок окон высокого давления имеет вид

$$L_R = \frac{\Delta\varphi_{1-2} \cdot D_1}{6n_R},$$

из которой видно, что при неизменной скорости первичной ударной волны D_1 и угла $\Delta\varphi_{1-2}$ увеличение частоты вращения приведет к уменьшению расчетной длины ротора в такое же количество раз. В частности повышение n_R в два раза также вдвое уменьшит расчетную длину ротора L_R .

Задание с развернутым ответом Высокий уровень

Задание 17.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Вращение ротора волнового обменника замедляется со временем по гиперболе $\omega_R = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5} \cdot t}$ от 16300 до 12500 мин⁻¹. Какое количество оборотов за время замедления вращения сделает ротор?

Ответ (решение): угловая скорость является первой производной угла поворота по времени

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Один оборот составляет 2π радиан, тогда искомое число оборотов, которое сделает ротор, будет равно $\Delta\varphi/2\pi$, где $\Delta\varphi$ – это угол, на который повернется ротор за время замедления от начальной до конечной угловой скорости. Угол $\Delta\varphi$ выражается интегралом

$$\Delta\varphi = \int_{t_1}^{t_2} \omega_R(t) dt,$$

где пределы интегрирования t_1 и t_2 – условные начальный и конечный моменты времени, соответствующие началу и концу замедления вращения. Они определяются из заданного выражения $\omega_R(t)$ с учетом соотношения между угловой скоростью и частотой вращения

$$t = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_R} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}} = \frac{15}{10^{-5} \cdot \pi \cdot n_R}.$$

Условный момент времени начала замедления ротора

$$t_1 = \frac{15}{10^{-5} \cdot \pi \cdot n_{R1}} = \frac{15}{10^{-5} \cdot 3,14 \cdot 16300} = 29,3 \text{ с.}$$

Условный момент времени конца замедления ротора

$$t_2 = \frac{15}{10^{-5} \cdot \pi \cdot n_{R2}} = \frac{15}{10^{-5} \cdot 3,14 \cdot 12500} = 38,2 \text{ с.}$$

Тогда

$$\Delta\varphi = \int_{t_1}^{t_2} \omega_R(t) dt = \int_{29,3}^{38,2} \frac{1}{2 \cdot 10^{-5} \cdot t} dt = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} \int_{29,3}^{38,2} \frac{dt}{t} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} \ln t \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} \ln \frac{t_2}{t_1} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} \ln \frac{38,2}{29,3} = 13262 \text{ рад.}$$

Искомое количество оборотов будет равно

$$N = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{13262}{2 \cdot 3,14} = 2111,8 \text{ об.}$$

За время замедления ротор волнового обменника совершит 2111,8 оборота.

Задание с развернутым ответом Высокий уровень

Задание 18.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Площадь торца ротора волнового обменника $F_R = 500 \text{ см}^2$. Определить число ячеек ротора, если шаг ячейки по среднему диаметру $l_{cp} = 16,2 \text{ мм}$, а высота ячейки $h = 35 \text{ мм}$.

Ответ (решение): длина окружности L_{cp} по среднему диаметру D_{cp} связана с шагом по среднему диаметру l_{cp} и числом ячеек Z очевидным выражением

$$L_{cp} = Z \cdot l_{cp}.$$

Отсюда искомое число ячеек

$$Z = \frac{L_{cp}}{l_{cp}}.$$

Длина средней окружности

$$L_{cp} = \pi \cdot D_{cp}.$$

Средний диаметр ротора через высоту ячейки h и наружный диаметр D_H выражается очевидной формулой

$$D_{cp} = D_H - h.$$

Наружный диаметр ротора определяется из заданной площади торца ротора

$$D_H = \sqrt{\frac{4F_R}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 500 \cdot 10^2}{3,14}} = 252 \text{ мм}.$$

Средний диаметр ротора

$$D_{cp} = D_H - h = 252 - 35 = 217 \text{ мм}.$$

Длина средней окружности

$$L_{cp} = \pi \cdot D_{cp} = 3,14 \cdot 217 = 681 \text{ мм}.$$

Число ячеек ротора

$$Z = \frac{L_{cp}}{l_{cp}} = \frac{681}{16,2} = 42 \text{ шт}.$$

Число ячеек в роторе волнового обменника 42 штуки.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 19.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

В окно отвода высокого давления волнового обменника из ячейки ротора поступает сжатый воздух со скоростью $w_f = 107 \text{ м/с}$. Определить температуру воздуха, если число Маха в потоке $M = 0,26$.

Ответ (решение): по определению число Маха равно отношению скорости потока к местной скорости звука

$$M = \frac{w_f}{w_{3B}},$$

отсюда можно определить скорость звука в потоке

$$w_{3B} = \frac{w_f}{M}.$$

С другой стороны, скорость звука связана с температурой газа выражением

$$w_{3B} = \sqrt{kRT}.$$

Тогда искомая температура сжатого воздуха

$$T = \frac{1}{kR} \cdot \left(\frac{w_f}{M} \right)^2 = \frac{1}{1,4 \cdot 287} \cdot \left(\frac{107}{0,26} \right)^2 = 421,5 \text{ К}.$$

Температура сжатого воздуха в окне ОВД равна 421,5 К (148,5 °С).

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 20.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Внутренний диаметр ротора волнового обменника $D_B = 100$ мм, высота ячейки $h = 25$ мм. Найти линейную скорость на наружном диаметре ротора, если частота вращения коленчатого вала дизеля $n = 2350$ об/мин, а передаточное число ременной передачи от двигателя к обменнику $i = 4$.

Ответ (решение): линейная скорость точки, движущейся по окружности радиусом R , определяется известным из теоретической механики выражением

$$v = \omega \cdot R.$$

Линейная скорость v_H точек на наружном диаметре D_H ротора волнового обменника

$$v_H = \omega_R \frac{D_H}{2} = \frac{\pi \cdot n_R}{30} \cdot \frac{D_H}{2}.$$

Наружный диаметр ротора связан с внутренним D_B и высотой ячейки простым выражением

$$D_H = D_B + 2h = 100 + 2 \cdot 25 = 150 \text{ мм}.$$

Т.к. ротор обменника давления приводится повышающей ременной передачей от коленчатого вала двигателя, то частота вращения ротора равна

$$n_R = n \cdot i = 2350 \cdot 4 = 9400 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда искомая линейная скорость на наружном диаметре

$$v_H = \frac{\pi \cdot n_R}{30} \cdot \frac{D_H}{2} = \frac{3,14 \cdot 9400}{30} \cdot \frac{150 \cdot 10^{-3}}{2} = 73,79 \text{ м/с}.$$

Линейная скорость на наружном диаметре ротора волнового обменника равна 73,79 м/с.

КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 2

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	35	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	14	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
3.	235	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	25	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	5	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
6.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
7.	1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
8.	4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
9.	31425	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
10.	14352	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
11.	45312	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
12.	52341	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
13.	A5B3B1Г2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
14.	A2Б1B5Г3	1б – полное правильное соответствие

		06 – остальные случаи
15.	A4B3B2Г5	16 – полное правильное соответствие 06 – остальные случаи
16.	Расчетная длина ротора волнового обменника уменьшится во столько раз, во сколько увеличится его частота вращения.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
17.	За время замедления ротор волнового обменника совершит 2111,8 оборота.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
18.	Число ячеек в роторе волнового обменника 42 штуки.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
19.	Температура сжатого воздуха в окне ОВД равна 421,5 К (148,5 °С).	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
20.	Линейная скорость на наружном диаметре ротора волнового обменника равна 73,79 м/с.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

Шкала оценивания теста

шкала оценивания	интервал баллов
5	27-30
4	21-26
3	14-20
2	0-13

Оценочные средства по дисциплине «Волновые обменники давления»

Вопросы при защите практических работ (базовый уровень)

- Какова сущность форсирования двигателей внутреннего сгорания по p_c ?
- Какие Вы знаете системы наддува ДВС?
- Какие преимущества и недостатки системы наддува «Comprex»?
- Какова сущность газодинамических процессов, происходящих в каналах ротора волнового обменника давления?
- Как изменяются параметры газа и воздуха в ячейках ротора волнового обменника давления?
- Как влияют конструктивные параметры волнового обменника давления на работу комбинированного ДВС?
- Дайте анализ конструкции однополостного обменника давления.
- В чем преимущества волнового обменника давления с односторонним рабочим циклом?
- В каких случаях в ДВС применяют волновые обменники давления с двухступенчатыми циклами?
- Каковы преимущества и недостатки газотурбинного двигателя с волновым компрессором?
- Дайте анализ конструкции деталей газотурбинного двигателя с волновым компрессором.

12. Как komponуется подшипниковый узел в прямооточных волновых обменников давления?
13. Какие конструктивные и режимные параметры влияют на выбор фаз газораспределения волнового обменника давления?
14. Какие конструктивные и режимные параметры влияют на выбор среднего диаметра и длины проточной части ротора волнового обменника давления?
15. Что называется степенью использования пропускной способности ротора волнового обменника давления?
16. Какие конструктивные и режимные параметры влияют на выбор скоростной режим волнового обменника давления?
17. Как определяются параметры рабочих сред во впускном и выпускном коллекторах комбинированного двигателя?
18. Какие конструктивные и режимные параметры влияют на качество очистки и продувки каналов ротора волнового обменника давления?
19. Как влияют параметры окон высокого давления на цикл низкого волнового обменника давления?
20. Какие конструктивные параметры волнового обменника давления позволяют согласовывать расходные характеристики ВОД и ДВС?
21. Какие уравнения термодинамики используются для определения остаточного давления в каналах ротора волнового обменника давления?
22. Какие основные недостатки традиционных схем ВОД?
23. Какие устройства позволяют нивелировать рассогласование скоростного режима ВОД с фазами газораспределения обменника?
24. Какова технология изготовления ротора ВОД?
25. Какие методы расчета ротора обменника?
26. Какие устройства позволяют интенсифицировать продувку каналов ротора ВОД?
27. Назовите преимущества и недостатки осевых и центробежных продувочных вентиляторов и приведите схемы компоновки их в ВОД.
28. Какие требования предъявляются к материалам ротора и корпусных деталей волнового обменника давления?

Выполняется в соответствии с методическими указаниями к практическим занятиям по дисциплине «Волновые обменники давления» (для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Двигатели внутреннего сгорания») / Сост.: Брянец М.А.- Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2018.- 20с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству практическая работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Практическая работа выполнена на высоком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 75-100 %, соответствуют правильному решению на 90-100 % вопросов/задач)
4	Практическая работа выполнена на среднем уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 50-75 %, соответствуют правильному решению на 75-89 % вопросов/задач)
3	Практическая работа выполнена на низком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно 40-50 %, соответствуют правильному решению на 50-74 % вопросов/задач)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
2	Практическая работа выполнена на неудовлетворительном уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически неправильно, соответствуют правильному решению менее чем на 50 %)

Вопросы при защите лабораторной работы (базовый уровень):

1. Устройство и принцип работы волнового обменника давления.
2. Сущность газодинамических процессов, происходящих в каналах ротора волнового обменника давления.
3. Скорость распространения первичных волн возмущения, изменение параметров газа и воздуха в ячейках ротора волнового обменника давления.
4. Анализ влияния конструктивных параметров волнового обменника давления на работу комбинированного ДВС.
5. Схемы и конструкции волновых обменников давления.
6. Волновые обменники давления с прямоточными рабочими циклами.
7. Волновые обменники давления с односторонними рабочими циклами.
8. Однополостные обменники давления.
9. Волновые обменники давления со скрещивающимися каналами ротора.
10. Волновые обменники давления с двухступенчатыми циклами.
11. Газотубинные двигатели с волновыми компрессорами.
12. Предварительный выбор конструктивных параметров ВОД.
13. Определение фаз газораспределения в ВОД.
15. Степень использования пропускной способности ротора.
16. Расчет среднего диаметра и длины проточной части ротора.
17. Определение скоростного режима ВОД и углов смещения передних кромок окон ВД и НД.
18. Теоретические основы расчета газодинамического цикла ВОД.
19. Определение основных газодинамических параметров рабочих тел в газовоздушных трактах комбинированного двигателя и напорообменных каналах ротора ВОД.
20. Влияние режимных параметров части цикла ВОД высокого давления на качество очистки и продувки напорообменных каналов в период газообмена ВОД.
21. Расчет остаточного давления и параметров наддува ДВС.
23. Основные направления совершенствования ВОД.
24. Вопросы технологичности элементов ВОД.
25. Схемы систем и конструкции устройств интенсификации продувки каналов ротора ВОД.
26. Системы газовоздушных трактов дизеля с ВОД.
27. Расчет объемов газовоздушных трактов дизеля.
28. Пусковая клапанная система.
29. Расчет системы вентилирования напорообменных каналов.
30. Центробежные и осевые продувочные вентиляторы.
31. Приводы ротора ВОД.
32. Комбинированные, независимые от вращения коленчатого вала двигателя, приводы ротора ВОД.
33. Влияние величины остаточного давления на коэффициент продувки каналов ротора.
34. Сравнительный анализ эффективности работы различных агрегатов наддува ДВС.
35. Влияние температуры окружающего воздуха на показатели работы ВОД.
36. Влияние разрежения на впуске и противодействия на выпуске на КПД ВОД.
37. Выбор оптимальной частоты вращения ротора ВОД и передаточного отношения привода.

38. Оптимизация отношений угловых размеров окон ВВД и ГВД.
39. Работа волнового обменника давления, имеющего газовый, компрессионный и расширительный карманы.
40. Влияние числа каналов в ярусе ротора на условия образования первичных ударных волн.
41. Экологические показатели работы ДВС с ВОД.
42. Влияние числа каналов и частоты вращения ротора на протяженность зоны смещения.
43. Внешние скоростные характеристики вихрекамерного дизельного двигателя с газотурбонагнетателем, с ВОД и с объемным нагнетателем.
44. Критерии оценки эффективности работы ВОД.
45. Основные параметры согласования режимов совместной работы ВОД и ДВС.

Выполняется в соответствии с методическими указаниями к лабораторным занятиям по дисциплине «Волновые обменники давления» (для студентов направления подготовки 13.0303 «Энергетическое машиностроение» профиля «Двигатели внутреннего сгорания») / Сост.: Брянцев М.А.- Луганск: изд-во ЛНУ им.В.Даля, 2018. - 46с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству лабораторная работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Лабораторная работа выполнена на высоком уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Лабораторная работа выполнена на среднем уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Лабораторная работа выполнена на низком уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 50-74 % вопросов/задач)
2	Лабораторная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны менее чем на 50 %)

Индивидуальное задание (высокий уровень):

Тема: Определить основные конструктивные параметры волнового обменника давления (ВОД), используемого в качестве агрегата наддува двигателя внутреннего сгорания для предложенного двигателя мощностью N_e кВт при частоте вращения коленчатого вала n мин⁻¹.

№ варианта	Марка двигателя	N_e кВт	n_e мин ⁻¹
1	4ЧН8,5/11	30	1500
2	4ЧН8,5/11	35	1500
3	8ЧН8,5/11	70	1500
4	4ЧН12/14	100	1500
5	6ЧН12/14	125	1500

6	4ЧН12/14	85	1300
7	12ЧН13/14	460	2100
8	12ЧН13/14	450	2000
9	6ЧН13/14	230	2100
10	6ЧН13/14	220	2000
11	8ЧН12/12	280	2600
12	8ЧН12/12	260	2400
13	8ЧН12/12	240	2600
14	6ЧН13/11,5	150	1600
15	6ЧН13/11,5	165	1600
16	6ЧН13/11,5	180	1600
17	6ЧН13/11,5	160	1500
18	8ЧН13/11,5	185	1600
19	4ЧН11/12,5	130	2100
20	4ЧН11/12,5	100	2000

Вопросы при защите индивидуального задания (базовый уровень):

1. Как задается угол раскрытия окна ВВД?
2. Как определяется угол смещения передних кромок окон ВД?
3. Что такое длина ротора, от чего она зависит?
4. Как определяется площадь проходного сечения проточной части ротора?
5. Как определяется площадь проходного сечения окна ВВД?
6. Как определяется площадь проходного сечения окна ГВД?
7. От чего зависит угол раскрытия окна ГВД?
8. Как определить число напорообменных каналов в ярусе ротора?
9. Что такое приведенная скорость потока в канале ВВД?
10. Приведите формулу для плотности воздуха в окне ВВД?
11. Как определяется уточненное значение частоты вращения ротора ВОД?
12. Как определяется полное давление и плотность в окне ВВД?
13. Как определяется полное давление в сечении окна ГВД?
14. Что может служить критерием выбора углов раскрытия окон низкого давления?

Выполняется в соответствии с методическими указаниями к самостоятельной работе по курсу «Волновые обменники давления» для студентов направления подготовки 13.03.03.«Энергетическое машиностроение», специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Сост.: М.А.Брянцев. - Луганск: Изд-во ЛНУ им.В.Даля, 2019. - 50с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству индивидуальное задание

Шкала оценивания	Критерий оценивания
------------------	---------------------

(интервал баллов)	
5	Задание представлено на высоком уровне (студент полностью представил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.). Изложение и оформление текста полностью соответствует требованиям оформления технического текста
4	Задание представлено на среднем уровне (студент в целом изложил рассматриваемую проблематику, привел мало аргументов в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.). Изложение и оформление текста в основном соответствует требованиям оформления технического текста
3	Задание представлено на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.). Изложение и оформление текста частично соответствует требованиям оформления технического текста
2	Задание представлено на неудовлетворительном уровне или не представлено (студент не готов, не выполнил задание и т.п.). Изложение и оформление текста полностью не соответствует требованиям оформлению технического текста

Варианты для выполнения контрольной работы:

(повышенный уровень)

Произвести предварительные вычисления требуемого давления наддува по заданным параметрам (см табл.) : тип двигателя, n , N_e , g_e .

- n - частота вращения коленчатого вала двигателя (мин^{-1});
- g_e - удельный эффективный расход топлива ($\text{кг/кВт}\cdot\text{ч}$);

По данным прототипа принимаются значения:

- D - диаметр цилиндра (м);
- S - ход поршня (м);
- i - число цилиндров;
- z - коэффициент тактности ($z = 0.5$ - для 4-х тактных, $z = 1$ - для 2-х тактных ДВС);
- α - коэффициент избытка воздуха;
- $\varphi_\diamond$ - коэффициент продувки;
- η_v - коэффициент наполнения;
- T_T - температура выхлопных газов перед турбиной (К);
- T_k - температура воздуха после холодильника (К).

В расчете принимаются следующие значения переменных и коэффициентов:

$R_b = 287 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ - газовая постоянная для воздуха;

$R_r = 288 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ - газовая постоянная для ОГ;

$L_0' = 14.3 \text{ кг воздуха/кг топлива}$ - теоретически необходимое количество воздуха;

$T_k = 300\text{-}340 \text{ К}$;

$T_T = 850\text{-}1000 \text{ К}$;

для дизельных двигателей:

2-х тактных $\alpha \approx 2.0\text{-}2.3$; $\varphi_a = 1.4\text{-}1.6$;

4-х тактных $\alpha \approx 1.7\text{-}2.0$; $\varphi_a = 1.05\text{-}1.15$;

для карбюраторных двигателей $\alpha \approx 0.8\text{-}1.2$.

По данным прототипа определяется рабочий объем цилиндра V_s , м^3 :

$$V_s = \frac{\pi D^2}{4} S. \quad (1)$$

Определяется секундный расход воздуха через двигатель G_b , кг/с :

$$G_B = \frac{g_e N_e \alpha L'_0 \Phi_a}{3600} \quad (2)$$

С другой стороны, расход воздуха G_B можно определить по формуле:

$$G_B = \frac{iz V_s \eta_v \Phi_a}{60 R_B} \cdot \frac{n p_k}{T_k} \quad (3)$$

Преобразовав выражение (3) выразим p_k , Па:

$$p_k = \frac{60 R_B G_B T_k}{iz n V_s \eta_v \Phi_a} \quad (4)$$

№ п/п	Обозначение двигателя	Марка двигателя	n, мин ⁻¹	Ne, кВт	g _e , кг/кВт·ч
1	6ЧКРН 45/66	MAN K6V	250	2060	0.197
2	12ДКРН 85/170	Stork SW1285/170	115	23540	0.200
3	16ЧН 26/26	5Д49	1000	2940	0.204
4	16ЧН 24/27	2Д70	1000	2200	0.204
5	12ДКРН 105/180	MAN KZ-105/180	106	30900	0.208
6	12ДКРН 106/180	FIAT 10612S	108	29420	0.210
7	6ДКРН 84/180	B&W 664VT2BP180	110	12800	0.210
8	18ЧРН 40/46	SEMT-Pielstick PS2	465	5880	0.211
9	6ЧН 15/18	B2-800-ATK-C2	2000	588	0.211
10	6ДКРН 75/160	ДБ-10	115	6620	0.215
11	12ДН 23/30	14Д40	750	1470	0.218
12	6ЧН 36/45	Г70	375	885	0.218
13	6ЧН 21/21	211Д-1	1400	550	0.218
14	12ДН 30/38	Sultzer 12ZV30/38	590	3310	0.220
15	6ЧН 31/36	K6S310DR	750	995	0.220
16	12ЧН 18/20	M756Б	1500	736	0.220
17	12ЧСПН18/20	M401	1550	736	0.224
18	6ЧН 23/30	MS-301SK	900	660	0.224
19	6ЧН 31.8/33	ПД1М	750	880	0.225
20	6ЧН 13/11.5	СМД-62	2100	135	0.226
21	42ЧСПН16/17	M503	2200	2940	0.227
22	12ЧН 15/18	1Д12	1500	368	0.230
23	16ДН 23/30	11Д45	750	2200	0.231
24	4ЧН 12/14	СМД-23	2050	110	0.234
25	6ЧСПН 12/14	K-164	1500	110	0.245

Номер варианта соответствует номеру студента в журнале академической группы.

(базовый уровень)

Задание №1

1. Как задается угол раскрытия окна ВВД?
2. Внешние скоростные характеристики вихрекамерного дизельного двигателя с газотурбонагнетателем, с ВОД и с объемным нагнетателем.
3. Критерии оценки эффективности работы ВОД.

Задание №2

1. Как определяется угол смещения передних кромок окон ВД?
2. Влияние числа каналов в ярусе ротора на условия образования первичных ударных волн.
3. Экологические показатели работы ДВС с ВОД.

Задание №3

1. Что такое длина ротора, от чего она зависит?
2. Оптимизация отношений угловых размеров окон ВВД и ГВД.
3. Работа волнового обменника давления, имеющего газовый, компрессионный и расширительный карманы.

Задание №4

1. Как определяется площадь проходного сечения проточной части ротора?
2. Выбор оптимальной частоты вращения ротора ВОД и передаточного отношения привода.
3. Оптимизация отношений угловых размеров окон ВВД и ГВД.

Задание №5

1. Как определяется площадь проходного сечения окна ВВД?
2. Влияние температуры окружающего воздуха на показатели работы ВОД.
3. Влияние разрежения на впуске и противодавления на выпуске на КПД ВОД.

Задание №6

1. Влияние величины остаточного давления на коэффициент продувки каналов ротора.
2. Сравнительный анализ эффективности работы различных агрегатов наддува ДВС.
3. Как определяется площадь проходного сечения окна ГВД?

Задание №7

1. От чего зависит угол раскрытия окна ГВД?
2. Влияние режимных параметров части цикла ВОД высокого давления на качество очистки и продувки напорообменных каналов в период газообмена ВОД.
3. Расчет остаточного давления и параметров наддува ДВС.

Задание №8

1. Как определить число напорообменных каналов в ярусе ротора?
2. Приводы ротора ВОД.
3. Комбинированные, независимые от вращения коленчатого вала двигателя, приводы ротора ВОД.

Задание №9

1. Что такое приведенная скорость потока в канале ВВД?
2. Расчет системы вентилирования напорообменных каналов.
3. Центробежные и осевые продувочные вентиляторы.

Задание №10

1. Приведите формулу для плотности воздуха в окне ВВД?
2. Расчет объемов газоздушных трактов дизеля.
3. Пусковая клапанная система.

Задание №11

1. Как определяется уточненное значение частоты вращения ротора ВОД?
2. Схемы систем и конструкции устройств интенсификации продувки каналов ротора ВОД.
3. Системы газоздушных трактов дизеля с ВОД.

Задание №12

1. Как определяется полное давление и плотность в окне ВВД?
2. Основные направления совершенствования ВОД.
3. Вопросы технологичности элементов ВОД.

Задание №13

1. Как определяется полное давление в сечении окна ГВД?
2. Что может служить критерием выбора углов раскрытия окон низкого давления?
3. строство и принцип работы волнового обменника давления.

Задание №14

1. Сущность газодинамических процессов, происходящих в каналах ротора волнового обменника давления.
2. Скорость распространения первичных волн возмущения, изменение параметров газа и воздуха в ячейках ротора волнового обменника давления.
3. Анализ влияния конструктивных параметров волнового обменника давления на работу комбинированного ДВС.

Задание №15

1. Влияние режимных параметров части цикла ВОД высокого давления на качество очистки и продувки напорообменных каналов в период газообмена ВОД.

2. Расчет остаточного давления и параметров наддува ДВС.
3. Основные направления совершенствования ВОД.

Задание №16

1. Определение скоростного режима ВОД и углов смещения передних кромок окон ВД и НД.
2. Теоретические основы расчета газодинамического цикла ВОД.
3. Определение основных газодинамических параметров рабочих тел в газовоздушных трактах комбинированного двигателя и напорообменных каналах ротора ВОД.

Задание №17

1. Определение фаз газораспределения в ВОД.
2. Степень использования пропускной способности ротора.
3. Расчет среднего диаметра и длины проточной части ротора.

Задание №18

1. Волновые обменники давления с двухступенчатыми циклами.
2. Газотубинные двигатели с волновыми компрессорами.
3. Предварительный выбор конструктивных параметров ВОД.

Задание №19

1. Волновые обменники давления с односторонними рабочими циклами.
2. Однополостные обменники давления.
3. Волновые обменники давления со скрещивающимися каналами ротора.

Задание №20

1. Схемы и конструкции волновых обменников давления.
2. Волновые обменники давления с прямоточными рабочими циклами.
3. Влияние числа каналов в ярусе ротора на условия образования первичных ударных волн.

Задание №21

1. Экологические показатели работы ДВС с ВОД.
2. Влияние числа каналов и частоты вращения ротора на протяженность зоны смещения.
3. Внешние скоростные характеристики вихрекамерного дизельного двигателя с газотурбоагнетателем, с ВОД и с объемным нагнетателем.

Задание №22

1. Основные параметры согласования режимов совместной работы ВОД и ДВС.
2. Критерии оценки эффективности работы ВОД.
3. Как определить число напорообменных каналов в ярусе ротора?

ТЕСТ (базовый уровень)

1. К какому типу машин относится волновой обменник давления с точки зрения сжатия рабочего тела?

- А) Прямого преобразования энергии рабочих тел
- В) Приводного объемного
- С) Приводного динамического
- Д) Беспроводного газодинамического

ANSWER: А

2. Вращение ротора волнового обменника является

- А) Вспомогательным движением, при котором осуществляется коммутация газообменных окон статора и ячеек ротора
- В) Основным рабочим движением, за счет которого осуществляется сжатие холодного рабочего тела
- С) Вспомогательным движением, осуществляющим исключительно продувку ячеек ротора
- Д) Движением, вызванным расширением горячего рабочего тела в ячейках ротора
- Е) Правильного ответа нет

ANSWER: А

3. Какое из газообменных окон волнового обменника имеет наименьший размер?

- A) Отвода высокого давления
- B) Отвода низкого давления
- C) Подвода высокого давления
- D) Подвода низкого давления
- E) Все окна одинакового размера

ANSWER: A

4. Примерная величина мощности привода ротора волнового обменника давления в долях от тепловой мощности горячего газового потока составляет в %

- A) От долей одного процента до нескольких процентов
- B) 0,1...0,2
- C) 0,3...0,4
- D) 0,45...0,4
- E) 0,5...0,56

ANSWER: A

5. Как изменяется критерий S_{Rel} при увеличении центрального угла ϕ_1 (т.е. углового размера) окна подвода высокого давления?

- A) Не изменяется
- B) Возрастает линейно
- C) Уменьшается по гиперболе степени $1/2$
- D) Увеличивается по логарифмической зависимости
- E) Увеличивается по экспоненте с показателем ϕ_1

ANSWER: A

6. Как изменяется производительность волнового обменника давления с увеличением длины ротора при прочих равных условиях?

- A) Не изменяется
- B) Линейно возрастает
- C) Линейно убывает
- D) Возрастает по квадратной параболе
- E) Убывает по гиперболе

ANSWER: A

7. При каких значениях критерия S_{Rel} достигается максимальная эффективность рабочего процесса волнового обменника?

- A) 0,32...0,36
- B) 0,05...0,1
- C) 0,8...0,9
- D) 1,2...1,3
- E) 6...13

ANSWER: A

8. До каких температур (°C) нагревается воздух, сжимаемый в ячейках ротора волнового обменника при начальной температуре окружающей среды?

- A) 160...180
- B) 50...80
- C) 90...110
- D) 120...150
- E) 200...250

ANSWER: A

9. Каково назначение газового кармана в волновом обменнике с карманами?

- A) Интенсификация продувки ячеек при отклонении частоты вращения ротора от расчетного значения в сторону меньших значений
- B) Увеличение напорности обменника при отклонении частоты вращения ротора от расчетного значения в сторону больших значений
- C) Интенсификация продувки ячеек при отклонении частоты вращения ротора от расчетного значения в сторону больших значений

D) Увеличение производительности обменника при отклонении частоты вращения ротора от расчетного значения в сторону меньших значений

E) Увеличение производительности обменника при отклонении частоты вращения ротора от расчетного значения в сторону больших значений

ANSWER: A

10 Система наддува ДВС, построенная на волновом обменнике давления называется

A) Comprex

B) Maxidine

C) Hyperbar

D) Lysholm

E) Roots

ANSWER: A

11. Увеличение температуры рабочего тела в окне отвода низкого давления свидетельствует о

A) Снижении КПД обменника

B) Повышении КПД волнового обменника

C) Увеличении напорности обменника

D) Увеличении производительности обменника

E) Увеличении степени расширения сжимающей среды

ANSWER: A

12. Какой элемент отсутствует в конструкции волнового обменника давления?

A) Газообменные каналы

B) Статор

C) Подшипники

D) Торцевые шайбы

ANSWER: A

13. Как изменится расчетная длина ротора волнового обменника, если при прочих равных условиях частоту вращения ротора увеличить в два раза?

A) Уменьшится в два раза

B) Не изменится

C) Уменьшится в четыре раза

D) Увеличится в два раза

E) Увеличится в четыре раза

ANSWER: A

14. Что является энергетическим источником продувочного импульса ячеек ротора волнового обменника давления?

A) Остаточное давление в ячейке в момент, предшествующий ее сообщению с окном подвода низкого давления

B) Давление во фронте волны сжатия, распространяющейся по ячейке, при её сообщении с окном подвода высокого давления

C) Кинетическая энергия вращения ротора

D) Давление, создаваемое продувочным вентилятором

E) Давление сжимаемого рабочего тела

ANSWER: A

15. Увеличение остаточного давления в ячейке ротора волнового обменника давления сопровождается

A) Снижением адиабатного КПД и увеличением продувочного импульса ячейки

B) Увеличением адиабатного КПД и продувочного импульса ячейки

C) Снижением адиабатного КПД и продувочного импульса ячейки

D) Увеличением адиабатного КПД и снижением продувочного импульса ячейки

E) Увеличением степени повышения давления сжимаемого рабочего тела

ANSWER: A

16. В каком диапазоне лежат средние значения номинальной частоты вращения ротора волнового обменника давления?

A) 7000...16000 об/мин

- B) 2000...3000 об/мин
- C) 4000...6000 об/мин
- D) 18000...25000 об/мин
- E) 30000...50000 об/мин

ANSWER: A

17. Максимальные значения общего КПД волнового обменника достигают

- A) 0,2...0,3
- B) 0,45...0,57
- C) 0,65...0,7
- D) 0,73...0,78
- E) 0,8...0,85

ANSWER: B

18. С увеличением площади окна отвода высокого давления волнового обменника до предельных рекомендуемых значений при прочих равных условиях

- A) Возрастает КПД
- B) Уменьшается коэффициент загромождения проточной части ротора перегородками ячеек
- C) Уменьшается критерий подобия S_{Rel} , характеризующий степень использования пропускной способности ротора
- D) Увеличивается расчетная частота вращения ротора
- E) Снижается КПД

ANSWER: A

19. Как изменяется угол относительного смещения передних кромок окон высокого давления волнового обменника при увеличении частоты вращения ротора и неизменных других параметрах?

- A) Линейно возрастает
- B) Возрастает по квадратной параболе
- C) Линейно уменьшается
- D) Уменьшается по гиперболе
- E) Не изменяется

ANSWER: A

20. Какое из газообменных окон волнового обменника имеет наибольший размер?

- A) Отвода высокого давления
- B) Отвода низкого давления
- C) Подвода высокого давления
- D) Подвода низкого давления
- E) Все окна одинакового размера

ANSWER: B

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольная работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Контрольная работа выполнена на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Контрольная работа выполнена на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Контрольная работа выполнена на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74 % вопросов/задач)
2	Контрольная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50 %)

Вопросы для промежуточной аттестации (зачет):

1. Сущность газодинамических процессов, происходящих в каналах ротора волнового обменника давления.
2. Устройство и принцип работы волнового обменника давления.

3. Скорость распространения первичных волн возмущения, изменение параметров газа и воздуха в ячейках ротора волнового обменника давления.
4. Анализ влияния конструктивных параметров волнового обменника давления на работу комбинированного ДВС.
5. Схемы и конструкции волновых обменников давления.
6. Волновые обменники давления с прямоточными рабочими циклами.
7. Волновые обменники давления с односторонними рабочими циклами.
8. Однополостные обменники давления.
9. Волновые обменники давления со скрещивающимися каналами ротора.
10. Волновые обменники давления с двухступенчатыми циклами.
11. Газотубинные двигатели с волновыми компрессорами.
12. Предварительный выбор конструктивных параметров ВОД.
13. Определение фаз газораспределения в ВОД.
14. Расчет объема проточной части ротора волнового обменника давления.
15. Степень использования пропускной способности ротора.
16. Расчет среднего диаметра и длины проточной части ротора.
17. Определение скоростного режима ВОД и углов смещения передних кромок окон ВД и НД.
18. Теоретические основы расчета газодинамического цикла ВОД.
19. Определение основных газодинамических параметров рабочих тел в газовоздушных трактах комбинированного двигателя и напорообменных каналах ротора ВОД.
20. Влияние режимных параметров части цикла ВОД высокого давления на качество очистки и продувки напорообменных каналов в период газообмена ВОД.
21. Расчет остаточного давления и параметров наддува ДВС.
22. Согласование расходных характеристик ДВС и ВОД.
23. Основные направления совершенствования ВОД.
24. Вопросы технологичности элементов ВОД.
25. Схемы систем и конструкции устройств интенсификации продувки каналов ротора ВОД.
26. Системы газовоздушных трактов дизеля с ВОД.
27. Расчет объемов газовоздушных трактов дизеля.
28. Пусковая клапанная система.
29. Расчет системы вентилирования напорообменных каналов.
30. Центробежные и осевые продувочные вентиляторы.
31. Приводы ротора ВОД.
32. Комбинированные, независимые от вращения коленчатого вала двигателя, приводы ротора ВОД.
33. Влияние величины остаточного давления на коэффициент продувки каналов ротора.
34. Сравнительный анализ эффективности работы различных агрегатов наддува ДВС.
35. Влияние температуры окружающего воздуха на показатели работы ВОД.
36. Влияние разрежения на впуске и противодействия на выпуске на КПД ВОД.
37. Выбор оптимальной частоты вращения ротора ВОД и передаточного отношения привода.
38. Оптимизация отношений угловых размеров окон ВВД и ГВД.
39. Работа волнового обменника давления, имеющего газовый, компрессионный и расширительный карманы.
40. Влияние числа каналов в ярусе ротора на условия образования первичных ударных волн.
41. Экологические показатели работы ДВС с ВОД.
42. Влияние числа каналов и частоты вращения ротора на протяженность зоны смешения.
43. Внешние скоростные характеристики вихрекамерного дизельного двигателя с газотурбонагнетателем, с ВОД и с объемным нагнетателем.
44. Критерии оценки эффективности работы ВОД.
45. Основные параметры согласования режимов совместной работы ВОД и ДВС.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (зачет)

Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	зачтено
Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.	
Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.	не зачтено

9. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

При необходимости рабочая программа учебной дисциплины может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК). В случае необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося), а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников, например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения – аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной (модулем), за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;

- применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительность сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, – не более чем на 90 минут;
- продолжительность подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, – не более чем на 20 минут.

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)