МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ:
Первый проректор-проректор по учебной работе
_____ / Д.Е. Овчинников
"_____" _____ 20___ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.03.03 «Гидрогазодинамика»

Код и направление подготовки (специальность)	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Направленность (профиль)	Промышленная теплоэнергетика
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Теплоэнергетический факультет
Выпускающая кафедра	кафедра "Промышленная теплоэнергетика"
Кафедра-разработчик	кафедра "Теоретические основы теплотехники и гидромеханика"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	252 / 7
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Самара 2023

Б1.О.03.03 «Гидрогазодинамика»

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) **13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от № 143 от 28.02.2018 и соответствующего учебного плана.

Разработчик РПД:

Профессор, доктор технических наук, профессор (должность, степень, ученое звание)	Е.В Стефанюк (ФИО)
Заведующий кафедрой	В.А. Кудинов, доктор физико-математических наук, профессор (ФИО, степень, ученое звание)

СОГЛАСОВАНО:

Председатель методического совета факультета / института (или учебно-методической комиссии)	Н.В Маслобойникова, кандидат филологических наук, доцент (ФИО, степень, ученое звание)
Руководитель образовательной программы	А.С. Горшенин, кандидат технических наук, доцент (ФИО, степень, ученое звание)
Заведующий выпускающей кафедрой	А.В. Еремин, доктор технических наук, доцент (ФИО, степень, ученое звание)

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы 4
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся 5
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий 5
4.1 Содержание лекционных занятий 6
4.2 Содержание лабораторных занятий 8
4.3 Содержание практических занятий 10
4.4. Содержание самостоятельной работы 12
5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю) 12
6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения 13
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем 13
8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) 13
9. Методические материалы 14
10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) 16

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Общепрофессиональные компетенции			
Фундаментальная подготовка	ОПК-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментальног о исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.2 Знать физико-математический аппарат, основные законы естествознания, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знать Знать физико-математический аппарат, основные законы естествознания, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
		ОПК-3.4 Уметь применять физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования, выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Уметь Уметь применять физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования, выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности
		ОПК-3.6 Владеть навыками применения физико-математического аппарата, методов анализа и моделирования, основных законов естествознания, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Владеть Владеть навыками применения физико-математического аппарата, методов анализа и моделирования, основных законов естествознания, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы: **обязательная часть**

Код компетенции	Предшествующие дисциплины	Параллельно осваиваемые дисциплины	Последующие дисциплины

ОПК-3	Математика; Физика; Химия	Уравнения математической физики	Аналитические методы моделирования энергетических систем; Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид учебной работы	Всего часов / часов в электронной форме	3 семестр часов / часов в электронной форме	4 семестр часов / часов в электронной форме
Аудиторная контактная работа (всего), в том числе:	112	64	48
Лабораторные работы	32	32	0
Лекции	32	16	16
Практические занятия	48	16	32
Внеаудиторная контактная работа, КСР	7	3	4
Самостоятельная работа (всего), в том числе:	70	14	56
подготовка к лекциям	14	4	10
подготовка к экзамену	44	10	34
выполнение курсовых работ	12	0	12
Контроль	63	27	36
Итого: час	252	108	144
Итого: з.е.	7	3	4

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы				
		ЛЗ	ЛР	ПЗ	СРС	Всего часов
1	Гидрогазодинамика как наука	2	4	2	12	20
2	Гидростатика	6	4	10	14	34
3	Гидродинамика	6	4	6	44	60
4	Течение жидкости и газа	4	4	6	0	14
5	Гидравлические потери	2	8	6	0	16

6	Теория гидродинамического подобия	2	0	2	0	4
7	Пограничный слой	2	0	2	0	4
8	Гидравлический расчет трубопроводных систем	2	4	10	0	16
9	Волны давления в газовом потоке	2	0	2	0	4
10	Ускорение газового потока	2	4	0	0	6
10	Неньютоновские жидкости	2	0	2	0	4
	КСР	0	0	0	0	7
	Контроль	0	0	0	0	63
	Итого	32	32	48	70	252

4.1 Содержание лекционных занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема лекции**	**Содержание лекции** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**
3 семестр				
1	Гидрогазодинамика как наука	Гидрогазодинамика как наука	Предмет науки. Исторический обзор. Реальная и идеальная жидкость. Основные физико-механические свойства жидкости. Вязкость. Закон Ньютона для внутреннего трения в жидкости.	2
2	Гидростатика	Основные положения гидростатики	Гидростатика. Гидростатическое давление и его свойства. Дифференциальные уравнения Эйлера для гидростатики. Интеграл уравнений Эйлера для несжимаемой жидкости. Закон Паскаля. Определение уравнения поверхности равного давления. Основное уравнение гидростатики.	2
3	Гидростатика	Давление жидкости и газа.	Абсолютное и избыточное давление. Вакуум. Гидростатический напор и энергетический закон для жидкости, находящейся в равновесии. Методы и приборы для измерения давления.	2
4	Гидростатика	Относительный покой жидкости. Сила давления жидкости на стенки.	Интегрирование уравнений Эйлера для случая относительного покоя жидкости. Сила давления жидкости на плоскую стенку произвольной формы. Гидростатический парадокс. Простые гидравлические машины. Закон Архимеда.	2
5	Гидродинамика	Основные понятия.	Два метода исследования движения жидкости-Эйлера и Лагранжа. Траектории частиц и линии тока. Струйчатая модель движения жидкости. Трубка тока. 3.1.3. Расход жидкости. Средняя скорость течения жидкости.	2

6	Гидродинамика	Дифференциальные уравнения движения жидкости.	Уравнение неразрывности в переменных Эйлера в декартовой системе координат. Модель идеальной (невязкой) жидкости. Дифференци-альные уравнения Эйлера. Дифференциальные уравнения движения вязкой жидко-сти-уравнения Навье-Стокса.	2
7	Гидродинамика	Уравнение Бернулли для движущей жидкости.	Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости. Физический и геометрический смысл уравнения Бернулли. Напор жидкости. Уравнение Бернулли для элементарной струйки и для потока реальной жидкости. Графическая интерпретация Уравнения Бернулли для потока реальной жидкости.	2
8	Течение жидкости и газа	Режимы течения.	Классификация гидравлических потерь. Два режима движения жидкости. Равномерное движение жидкости. Основное уравнение равномерного потока.	2
			Итого за семестр:	**16**
4 семестр				
9	Течение жидкости и газа	Ламинарное движение жидкости, Турбулентное движение жидкости.	Ламинарное движение жидкости. Расход жидкости. Коэффициент линейных потерь при ламинарном движении жидкости. Турбулентное перемешивание. Пульсация скоростей и напряжений при турбулентном режиме. Осреднение скоростей и напряжений. Структура турбулентного потока. Касательные напряжения в турбулентном потоке.	2
10	Гидравлические потери	Гидравлические потери. Истечение жидкости через отверстия и насадки.	Формулы для определения коэффициента гидравлического сопротивления. Местные сопротивления. Зависимость коэффициента местных потерь от числа Рейнольдса. Принцип наложения потерь напора. Коэффициент сопротивления системы. Основные расчетные формулы для определения потерь напора. Экспериментальные данные для коэффициента гидрав-лического сопротивления. Опыты Никурадзе и Зегжда. Местные сопротивления. Истечение через малое отверстие в тонкой стенке. Истечение через затопленное отверстие. Истечение жидкости при переменном напоре.	2
11	Теория гидродинамического подобия	Основные понятия и определения теории подобия.	Теоремы теории подобия. Критерии подобия. Физический смысл критериев подобия. Приведение дифференциальных уравнений движения жидкости к безразмерному виду. Метод анализа размерностей. Метод Букингема. Метод Рэлея.	2

12	Пограничный слой	Основные физические представления о пограничном слое Ламинарный пограничный слой . Турбулентный пограничный слой.	Толщина пограничного слоя и толщина вытеснения. Дифференциальные уравнения Прандтля движения вязкой жидкости в ламинарном пограничном слое. Расчет ламинарного пограничного слоя. Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Структура турбулентного пограничного слоя. Расчет турбулентного пограничного слоя на пластине. Пограничный слой на искривленных поверхностях. Влияние продольного градиента давления и отрыв пограничного слоя.	2
13	Гидравлический расчет трубопроводных систем	Расчет простых трубопроводов. Расчет сложных трубопроводов.	Назначение и классификация трубопроводов. Расчет и проектирование трубопроводов. Гидравлический расчет простого трубопровода. Метод эквивалентных потерь. Гидравлический расчет сложных трубопроводов. Гидравлические характеристики трубопроводов. Гидроэнергетический баланс насосной установки. Сифонные трубопроводы.	2
14	Волны давления в газовом потоке	Волны давления в газовом потоке.	Волны разрежения. Скачки уплотнения.	2
15	Ускорение газового потока	Ускорение газового потока.	Сверхзвуковое сопло. Нерасчетные режимы истечения из сопла Лаваля. Сверхзвуковое течение газа с непрерывным увеличением скорости. Обтекание плоской стенки.	2
16	Неньютоновские жидкости	Общие понятия и классификация неньютоновских жидкостей. Движение вязко-пластичных жидкостей.	Вязко-пластичные жидкости и их свойства. Статика вязко-пластичных жидкостей. Движение вязко-пластичных жидкостей по трубам. Движение вязко-пластичных жидкостей в кольцевом пространстве.	2
			Итого за семестр:	**16**
			Итого:	**32**

4.2 Содержание лабораторных занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема лабораторного занятия**	**Содержание лабораторного занятия** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**
3 семестр				
1	Гидрогазодинамика как наука	Определение вязкости жидкости вискозиметром Энглера	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
2	Гидрогазодинамика как наука	Определение вязкости жидкости вискозиметром Энглера (продолжение).	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2

3	Гидростатика	Определение силы давления жидкости на плоские стенки.	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
4	Гидростатика	Определение силы давления жидкости на плоские стенки (продолжение).	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
5	Гидродинамика	Изучение относительного покоя жидкости во вращающемся сосуде.	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
6	Гидродинамика	Изучение относительного покоя жидкости во вращающемся сосуде (продолжение).	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
7	Течение жидкости и газа	Экспериментальная иллюстрация ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости, определение законов сопротивления и критического числа Рейнольдса.	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
8	Течение жидкости и газа	Экспериментальная иллюстрация ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости, определение законов сопротивления и критического числа Рейнольдса (продолжение).	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
9	Гидравлические потери	Определение коэффициента сопротивления трения при движении жидкости в трубопроводе.	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
10	Гидравлические потери	Определение коэффициентов местных сопротивлений при внезапном расширении или сужении потока.	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2

11	Гидравлические потери	Определение коэффициента сопротивления трения при движении жидкости в трубопроводе (продолжение).	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
12	Гидравлические потери	Определение коэффициентов местных сопротивлений при внезапном расширении или сужении потока (продолжение).	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
13	Гидравлический расчет трубопроводных систем	Изучение явления гидравлического удара.	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
14	Гидравлический расчет трубопроводных систем	Изучение явления гидравлического удара (продолжение).	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
15	Ускорение газового потока	Исследование процесса истечения воздуха через суживающееся сопло.	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
16	Ускорение газового потока	Исследование процесса истечения воздуха через суживающееся сопло (продолжение).	Отражено в лабораторном практикуме "Механика жидкости и газа" (см. перечень литературы).	2
			Итого за семестр:	**32**
			Итого:	**32**

4.3 Содержание практических занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема практического занятия**	**Содержание практического занятия** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**
3 семестр				
1	Гидрогазодинамика как наука	Свойства жидкостей.	Свойства жидкостей. Вязкость.	2
2	Гидростатика	Гидростатическое давление.	Гидростатическое давление. Закон Паскаля.	2
3	Гидростатика	Основное уравнение гидростатики.	Основное уравнение гидростатики.	2
4	Гидростатика	Давление жидкости и газа.	Абсолютное и избыточное давление. Вакуум.	2

5	Гидростатика	Простые гидравлические машины.	Простые гидравлические машины.	2
6	Гидростатика	Закон Архимеда.	Закон Архимеда.	2
7	Гидродинамика	Основные понятия.	Расход жидкости. Средняя скорость течения жидкости.	2
8	Гидродинамика	Уравнение Бернулли для движущей жидкости.	Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости.	2
			Итого за семестр:	**16**
		4 семестр		
9	Гидродинамика	Уравнение Бернулли для движущей жидкости.	Графическая интерпретация Уравнения Бернулли для потока реальной жидкости.	2
10	Течение жидкости и газа	Режимы течения.	Основное уравнение равномерного потока.	2
11	Течение жидкости и газа	Режимы течения.	Ламинарное движение жидкости. Расход жидкости.	2
12	Течение жидкости и газа	Режимы течения.	Турбулентное движение жидкости.	2
13	Гидравлические потери	Гидравлические потери.	Определение потерь напора.	2
14	Гидравлические потери	Гидравлические потери.	Опыты Никурадзе и Зегжда. Местные сопротивления.	2
15	Гидравлические потери	Истечение жидкости через отверстия и насадки.	Истечение жидкости через отверстия и насадки.	2
16	Теория гидродинамического подобия	Теория подобия.	Теория подобия.	2
17	Пограничный слой	Ламинарный пограничный слой.	Расчет пограничного слоя.	2
18	Гидравлический расчет трубопроводных систем	Расчет простых трубопроводов.	Расчет и проектирование трубопроводов.	2
19	Гидравлический расчет трубопроводных систем	Расчет простых трубопроводов.	Гидравлический расчет простого трубопровода.	2
20	Гидравлический расчет трубопроводных систем	Расчет сложных трубопроводов.	Гидравлический расчет сложных трубопроводов.	2
21	Гидравлический расчет трубопроводных систем	Расчет сложных трубопроводов.	Гидравлические характеристики трубопроводов.	2

22	Гидравлический расчет трубопроводных систем	Расчет сложных трубопроводов.	Графический метод расчета трубопровода.	2
23	Волны давления в газовом потоке	Расчет течения газа.	Расчет течения газа.	2
24	Неньютоновские жидкости	Расчет течения неньютоновской жидкости.	Расчет течения неньютоновской жидкости.	2
Итого за семестр:				**32**
Итого:				**48**

4.4. Содержание самостоятельной работы

Наименование раздела	**Вид самостоятельной работы**	**Содержание самостоятельной работы** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов**
3 семестр			
Гидростатика	Подготовка к лекциям.	Все темы раздела.	14
Гидродинамика	Подготовка к экзамену	Все темы раздела.	44
Итого за семестр:			**58**
4 семестр			
Гидрогазодинамика как наука	выполнение курсовых	Все темы раздела.	12
Итого за семестр:			**12**
Итого:			**70**

5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю)

№ п/п	**Библиографическое описание**	**Ресурс НТБ СамГТУ** (ЭБС СамГТУ, IPRbooks и т.д.)
Основная литература		
1	Гидравлика : учеб. / В. А. Кудинов [и др.] ; под ред. В. А. Кудинов; Самар.гос.техн.ун-т .- 4-е изд., перераб. и доп..- М., Юрайт, 2014.- 386 с.	Книжный фонд
2	Стефанюк, Е.В. Механика жидкости и газа : лаб.практикум / Е. В. Стефанюк , А. В. Еремин; Самар.гос.техн.ун-т, Теоретические основы теплотехники и гидромеханика.- Самара, 2013.- 81 с..- Режим доступа: https://elib.samgtu.ru/getinfo?uid=els_samgtu||elib||1228	Электронный ресурс
Дополнительная литература		

3	Кудинов, А.А. Гидрогазодинамика : учеб. пособие / А. А. Кудинов.- М., Инфра-М, 2015.- 335 с.	Книжный фонд
Учебно-методическое обеспечение		
4	Еремин, А.В. Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика : лаборатор. практикум / А. В. Еремин, Е. В. Стефанюк; Самар.гос.техн.ун-т, Теоретические основы теплотехники и гидромеханика .- 2-е изд., испр. и доп..- Самара, 2018.- 119 с..- Режим доступа: https://elib.samgtu.ru/getinfo?uid=els_samgtu||elib||3337	Электронный ресурс

Доступ обучающихся к ЭР НТБ СамГТУ (elib.samgtu.ru) осуществляется посредством электронной информационной образовательной среды университета и сайта НТБ СамГТУ по логину и паролю.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование.

Организовано взаимодействие обучающегося и преподавателя с использованием электронной ин-формационной образовательной среды университета.

№ п/п	Наименование	Производитель	Способ распространения
1	Microsoft Office	Microsoft (Зарубежный)	Лицензионное

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование	Краткое описание	Режим доступа
1	Электронная нефтегазовая библиотека им. Губкина	http://elib.gubkin.ru	Ресурсы открытого доступа

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Лекционные занятия

Аудитории для лекционных занятий (аудитория №50 корпус №6) укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории (наборы демонстрационного оборудования (проектор, экран, компьютер / ноутбук), учебно-наглядные, учебно-методические пособия, тематические иллюстрации.

Практические занятия

Аудитории для практических занятий укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Лабораторные занятия

Для лабораторных занятий используется аудитория № 25, корпус 6, оснащенная следующим оборудованием:

- стенд «Теплотехника, механика жидкости» (ТМЖ),
- вискозиметр,
- стенд «Гидростатика»,
- термометры,
- образцы грунтов.

Самостоятельная работа

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде СамГТУ:

- читальный зал НТБ СамГТУ (ауд. 200 корпус №8; ауд. 125 корпус № 1; ауд. 41, 31, 34, 35 Главный корпус библиотеки).
- компьютерный класс (ауд. 48, корпус 6.)

9. Методические материалы

Методические рекомендации при работе на лекции

До лекции студент должен просмотреть учебно-методическую и научную литературу по теме лекции с тем, чтобы иметь представление о проблемах, которые будут разбираться в лекции.

Перед началом лекции обучающимся сообщается тема лекции, план, вопросы, подлежащие рассмотрению, доводятся основные литературные источники. Весь учебный материал, сообщаемый преподавателем, должен не просто прослушиваться. Он должен быть активно воспринят, т.е. услышан, осмыслен, понят, зафиксирован на бумаге и закреплен в памяти. Приступая к слушанию нового учебного материала, полезно мысленно установить его связь с ранее изученным. Следя за техникой чтения лекции (акцент на существенном, повышение тона, изменение ритма, пауза и т.п.), необходимо вслед за преподавателем уметь выделять основные категории, законы и определять их содержание, проблемы, предполагать их возможные решения, доказательства и выводы. Осуществляя такую работу, можно значительно облегчить себе понимание учебного материала, его конспектирование и дальнейшее изучение.

Конспектирование лекции позволяет обработать, систематизировать и лучше сохранить полученную информацию с тем, чтобы в будущем можно было восстановить в памяти основные, содержательные моменты. Типичная ошибка, совершаемая обучающимся, дословное конспектирование речи преподавателя. Как правило, при записи «слово в слово» не остается времени на обдумывание, анализ и синтез информации. Отбирая нужную информацию, главные мысли, проблемы, решения и выводы, необходимо сокращать текст, строить его таким образом, чтобы потом можно было легко в нем разобраться. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых можно будет делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. С окончанием лекции работа над конспектом не может считаться завершенной. Нужно еще восстановить отдельные места, проверить, все ли понятно, уточнить что-то на консультации и т.п. с тем, чтобы конспект мог быть использован в процессе подготовки к практическим занятиям, зачету, экзамену. Конспект лекции – незаменимый учебный документ, необходимый для самостоятельной работы.

Методические рекомендации при подготовке и работе на практическом занятии

Практические занятия по дисциплине проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков в решении профессиональных задач.

Рекомендуется следующая схема подготовки к практическому занятию:

1. ознакомление с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы;
2. проработка конспекта лекции;
3. чтение рекомендованной литературы;
4. подготовка ответов на вопросы плана практического занятия;
5. выполнение тестовых заданий, задач и др.

Подготовка обучающегося к практическому занятию производится по вопросам, разработанным для каждой темы практических занятий и (или) лекций. В процессе подготовки к практическим занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы.

Работа студентов во время практического занятия осуществляется на основе заданий, которые выдаются обучающимся в начале или во время занятия. На практических занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике занятий. Обучающимся необходимо обращать внимание на основные понятия, алгоритмы, определять практическую значимость рассматриваемых вопросов. На практических занятиях обучающиеся должны уметь выполнить расчет по заданным параметрам или выработать определенные решения по обозначенной проблеме. Задания могут быть групповые и индивидуальные. В зависимости от сложности предлагаемых заданий, целей занятия, общей подготовки обучающихся преподаватель может подсказать обучающимся алгоритм решения или первое действие, или указать общее направление рассуждений. Полученные результаты обсуждаются с позиций их адекватности или эффективности в рассмотренной ситуации.

Методические рекомендации при работе на лабораторном занятии

Проведение лабораторной работы делится на две условные части: теоретическую и практическую.

Необходимыми структурными элементами занятия являются проведение лабораторной работы, проверка усвоенного материала, включающая обсуждение теоретических основ выполняемой работы.

Перед лабораторной работой, как правило, проводится технико-теоретический инструктаж по использованию необходимого оборудования. Преподаватель корректирует деятельность обучающегося в процессе выполнения работы (при необходимости). После завершения лабораторной работы подводятся итоги, обсуждаются результаты деятельности.

Возможны следующие формы организации лабораторных работ: фронтальная, групповая и индивидуальная. При фронтальной форме выполняется одна и та же работа (при этом возможны различные варианты заданий). При групповой форме работа выполняется группой (командой). При индивидуальной форме обучающимися выполняются индивидуальные работы.

По каждой лабораторной работе имеются методические указания по их выполнению, включающие необходимый теоретический и практический материал, содержащие элементы и последовательную инструкцию по проведению выбранной работы, индивидуальные варианты заданий, требования и форму отчётности по данной работе.

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы обучающихся ориентируется на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей обучающегося.

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса.

Самостоятельная работа реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий;
- на лекциях, практических занятиях;
- в контакте с преподавателем вне рамок расписания;
- на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.;
- в библиотеке, дома, на кафедре при выполнении обучающимся учебных и практических задач.

Эффективным средством осуществления обучающимся самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), практик, к изданиям электронных библиотечных систем.

10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств представлен в приложении № 1.

Приложение 1 к рабочей программе дисциплины
Б1.О.03.03 «Гидрогазодинамика»

Фонд оценочных средств
по дисциплине
Б1.О.03.03 «Гидрогазодинамика»

Код и направление подготовки (специальность)	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Направленность (профиль)	Промышленная теплоэнергетика
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Теплоэнергетический факультет
Выпускающая кафедра	кафедра "Промышленная теплоэнергетика"
Кафедра-разработчик	кафедра "Теоретические основы теплотехники и гидромеханика"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	252 / 7
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Общепрофессиональные компетенции			
Фундаментальная подготовка	ОПК-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментальног о исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.2 Знать физико-математический аппарат, основные законы естествознания, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знать Знать физико-математический аппарат, основные законы естествознания, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
		ОПК-3.4 Уметь применять физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования, выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Уметь Уметь применять физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования, выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности
		ОПК-3.6 Владеть навыками применения физико-математического аппарата, методов анализа и моделирования, основных законов естествознания, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	Владеть Владеть навыками применения физико-математического аппарата, методов анализа и моделирования, основных законов естествознания, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

Матрица соответствия оценочных средств (ОС) запланированным результатам обучения

Таблица 2

Код и индикатор достижения компетенции	Разделы			
	Раздел 1-11.	**Раздел 1-5, 8, 10.**	**Раздел 1-9, 11.**	**Раздел 4, 5, 8.**
	Наименование ОС	Наименование ОС	Наименование ОС	Наименование ОС
З4 ОПК-3.2 У4 ОПК-3.4 В4 ОПК-3.6	Тест, экзамен	Отчет по лаб. работам	Ответы на вопросы практических занятий	Курсовая работа

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций в ходе освоения образовательной программы

2.1. Формы текущего контроля успеваемости

Перечень подлежащих оценке результатов обучения (показателей проявления компетенций: владений, умений, знаний) при использовании предусмотренных рабочей программой дисциплины оценочных средств представлены в табл. 2.

Перечень вопросов для собеседования-допуска к выполнению отчета по **лабораторным работам**:

1. Какая цель работы?
2. Какое явление и законы изучаются в работе?
3. Опишите экспериментальную установку и методику проведения измерений.

Для защиты лабораторных работ студенту необходимо оформить отчёт и подготовить ответы на вопросы для самоконтроля, представленные в методических указаниях (п. 4-6 таблицы 9).

Типовые тестовые вопросы:

1. Максимальный коэффициент расхода и минимальные потери энергии наблюдаются при использовании

*коноидального насадка
сходящегося конического насадка
расходящегося конического насадка
внешнего цилиндрического насадка
внутреннего цилиндрического насадка

2. В случае последовательного соединения трубопроводов

*при одном и том же расходе Q потери напора H складываются
при одном и том же напоре H расходы Q складываются
при одном и том же расходе Q потери напора H удваиваются
потеря напора на каждом участке последовательного соединения одинакова

3. Уравнение движения Эйлера для идеальной невязкой жидкости по оси x имеет вид:

$$*\frac{\partial \upsilon_x}{\partial t}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}=X-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \upsilon_x}{\partial t}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}=X-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \upsilon}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \upsilon_x}{\partial t}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}=-\rho\frac{\partial p}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \upsilon_x}{\partial t}+\upsilon_x\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}+\upsilon_y\frac{\partial \upsilon_x}{\partial y}+\upsilon_z\frac{\partial \upsilon_x}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}$$

Вопросы к практическим занятиям

1. Свойства жидкостей. Вязкость.
2. Гидростатическое давление. Закон Паскаля.
3. Основное уравнение гидростатики.
4. Абсолютное и избыточное давление. Вакуум.
5. Простые гидравлические машины.
6. Закон Архимеда.
7. Расход жидкости. Средняя скорость течения жидкости.
8. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости
9. Графическая интерпретация Уравнения Бернулли для потока реальной жидкости.
10. Основное уравнение равномерного потока.
11. Ламинарное движение жидкости. Расход жидкости.

12. Турбулентное движение жидкости.
13. Определение потерь напора.
14. Опыты Никурадзе и Зегжда. Местные сопротивления.
15. Истечение жидкости через отверстия и насадки.
16. Теория подобия
17. Расчет пограничного слоя.
18. Расчет и проектирование трубопроводов.
19. Гидравлический расчет простого трубопровода.
20. Гидравлический расчет сложных трубопроводов.
21. Гидравлические характеристики трубопроводов.
22. Графический метод расчета трубопровода.
23. Расчет течения газа.
24. Расчет течения неньютоновской жидкости.

2.2. Формы промежуточной аттестации

В качестве промежуточной аттестации по дисциплине предусмотрен экзамен и курсовая работа.

Вопросы к экзамену

1. Предмет науки. Гидромеханическое представление о жидкости как сплошной и легкоподвижной среде. Жидкости сжимаемая и несжимаемая. Реальная и идеальная жидкость.
2. Плотность и удельный объем сплошной среды, их зависимости от температуры и давления.
3. Силы, действующие в жидкости и газе. Силы вязкости, силы давления, поверхностные силы, массовые силы.
4. Напряжение поверхностных сил. Нормальные и касательные напряжения. Напряжение в идеальной жидкости.
5. Закон Ньютона для внутреннего трения в жидкости.
6. Гидростатика. Гидростатическое давление и его свойства.
7. Дифференциальные уравнения Эйлера для гидростатики. Интеграл уравнений Эйлера для несжимаемой жидкости.
8. Закон Паскаля. Определение уравнения поверхности равного давления.
9. Основное уравнение гидростатики.
10. Абсолютное и избыточное давление.
11. Вакуум. Гидростатический напор и энергетический закон для жидкости, находящейся в равновесии.
12. Методы и приборы для измерения давления.
13. Интегрирование уравнений Эйлера для случая относительного покоя жидкости.
14. Прямолинейное равноускоренное движение жидкости вместе с емкостью.
15. Вращение жидкости вместе с емкостью вокруг вертикальной оси.
16. Сила давления жидкости на плоскую стенку произвольной формы.
17. Сила давления жидкости на криволинейную стенку.
18. Гидростатический парадокс.
19. Центр давления и определение его координат.
20. Гидравлический пресс. Гидравлический аккумулятор.
21. Закон Архимеда.
22. Условия плавучести и остойчивости тел, частично погруженных в жидкость.
23. Два метода исследования движения жидкости - Эйлера и Лагранжа.
24. Траектории частиц и линии тока. Струйчатая модель движения жидкости. Трубка тока.
25. Расход жидкости. Средняя скорость течения жидкости.
26. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера в декартовой системе координат.

27. Модель идеальной (невязкой) жидкости. Дифференциальные уравнения Эйлера.
28. Дифференциальные уравнения движения вязкой жидкости - уравнения Навье-Стокса.
29. Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости.
30. Физический и геометрический смысл уравнения Бернулли. Напор жидкости.
31. Уравнение Бернулли для элементарной струйки и для потока реальной жидкости. Графическая интерпретация Уравнения Бернулли для потока реальной жидкости.
32. Практическое применение уравнения Бернулли. Трубка Пито-Прандтля. Диафрагма, сопло и трубка Вентури.
33. Классификация гидравлических потерь. Два режима движения жидкости.
34. Равномерное движение жидкости.
35. Основное уравнение равномерного потока.
36. Ламинарное движение жидкости. Расход жидкости.
37. Коэффициент линейных потерь при ламинарном движении жидкости.
38. Формирование изотермического ламинарного потока.
39. Турбулентное перемешивание. Пульсация скоростей и напряжений при турбулентном режиме. Осреднение скоростей и напряжений.
40. Структура турбулентного потока. Касательные напряжения в турбулентном потоке.
41. Формулы для определения коэффициента гидравлического сопротивления. Местные сопротивления. Зависимость коэффициента местных потерь от числа Рейнольдса.
42. Принцип наложения потерь напора. Коэффициент сопротивления системы.
43. Основные расчетные формулы для определения потерь напора.
44. Экспериментальные данные для коэффициента гидравлического сопротивления. Опыты Никурадзе и Зегжда. Местные сопротивления.
45. Истечение через малое отверстие в тонкой стенке.
46. Истечение через затопленное отверстие.
47. Истечение жидкости при переменном напоре.
48. Истечение жидкости через насадки.
49.Назначение и классификация трубопроводов.
50. Расчет и проектирование трубопроводов.
51. Гидравлический расчет простого трубопровода.
52. Метод эквивалентных потерь.
53. Гидравлический расчет сложных трубопроводов.
54. Гидравлические характеристики трубопроводов.
55. Гидроэнергетический баланс насосной установки.
56. Сифонные трубопроводы.
57. Гидравлический удар в трубах. Кавитация.
58. Вязко-пластичные жидкости и их свойства.
59. Статика вязко-пластичных жидкостей.
60. Движение вязко-пластичных жидкостей по трубам.
61. Движение вязко-пластичных жидкостей в кольцевом пространстве.
62. Толщина пограничного слоя и толщина вытеснения.
63. Дифференциальные уравнения Прандтля движения вязкой жидкости в ламинарном пограничном слое.
64. Расчет ламинарного пограничного слоя. Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный.
65. Структура турбулентного пограничного слоя.
66. Расчет турбулентного пограничного слоя на пластине.

67. Пограничный слой на искривленных поверхностях. Влияние продольного градиента давления и отрыв пограничного слоя.
68. Теоремы теории подобия. Критерии подобия. Физический смысл критериев подобия.
69. Приведение дифференциальных уравнений движения жидкости к безразмерному виду.
70. Метод анализа размерностей. Метод Букингема. Метод Рэлея.
71. Волны разрежения.
72. Скачки уплотнения.
73. Сверхзвуковое сопло.
74. Нерасчетные режимы истечения из сопла Лаваля.
75. Сверхзвуковое течение газа с непрерывным увеличением скорости.
76. Обтекание плоской стенки.

Примерная структура билета

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «ТОТиГ»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине «Гидрогазодинамика»

Для направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Семестр 3

1. Плотность и удельный объем сплошной среды, их зависимости от температуры и давления.
2. Интегрирование уравнений Эйлера для случая относительного покоя жидкости.

Составитель:
_____ ФИО
«____» _____ 20__ года

Заведующий кафедрой
_____ ФИО
«____» _____ 20__ года

Требования к курсовой работе
представлены в п.4.

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

«Отлично» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций 80% более (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «хорошо» и «отлично», при условии отсутствия оценки «неудовлетворительно»: студент показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи повышенной сложности, свободно использовать справочную литературу, делать обоснованные выводы из результатов анализа конкретных ситуаций;

«Хорошо» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций на60% и более (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «хорошо» и «отлично», при условии отсутствия оценки «неудовлетворительно», допускается оценка «удовлетворительно»: обучающийся показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи, предусмотренные рабочей программой, ориентироваться в рекомендованной справочной литературе, умеет правильно оценить полученные результаты анализа конкретных ситуаций;

«Удовлетворительно» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций 50% и более (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»: обучающийся показал знание основных положений фактического материала, умение получить с помощью преподавателя правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой, знакомство с рекомендованной справочной литературой;

«Неудовлетворительно» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций менее чем 40% (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»: при ответе обучающегося выявились существенные пробелы в знаниях основных положений фактического материала, неумение с помощью преподавателя получить правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины. Соответствие систем оценок критериям оценивания сформированности планируемых результатов обучения (дескрипторов) представлено в таблице 4.

Таблица4

Интегральная оценка

Критерии	Традиционная оценка
5	5
4	4
3	3
2 и 1	2, незачет
5,4,3	зачет

Обучающиеся обязаны сдавать все задания в сроки, установленные преподавателем. Обучающиеся, сдавшие отчеты по лабораторным работам, допускаются к экзамену (промежуточная аттестация).

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

«Отлично» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций 80% более (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «хорошо» и «отлично», при условии отсутствия оценки «неудовлетворительно»: студент показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи повышенной сложности, свободно использовать справочную литературу, делать обоснованные выводы из результатов анализа конкретных ситуаций;

«Хорошо» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций на60% и более (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «хорошо» и «отлично», при условии отсутствия оценки «неудовлетворительно», допускается оценка «удовлетворительно»: обучающийся показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи, предусмотренные рабочей программой, ориентироваться в рекомендованной справочной литературе, умеет правильно оценить полученные результаты анализа конкретных ситуаций;

«Удовлетворительно» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций 50% и более (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»: обучающийся показал знание основных положений фактического материала, умение получить с помощью преподавателя правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой, знакомство с рекомендованной справочной литературой;

«Неудовлетворительно» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций менее чем 40% (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»: при ответе обучающегося выявились существенные пробелы в знаниях основных положений фактического материала, неумение с помощью преподавателя получить правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины. Соответствие систем оценок критериям оценивания сформированности планируемых результатов обучения (дескрипторов) представлено в таблице 4.

Таблица4

Интегральная оценка

Критерии	Традиционная оценка
5	5
4	4
3	3
2 и 1	2, незачет
5,4,3	зачет

Обучающиеся обязаны сдавать все задания в сроки, установленные преподавателем. Обучающиеся, сдавшие отчеты по лабораторным работам, допускаются к экзамену (промежуточная аттестация).

4. Методические материалы по выполнению курсовой работы.

I. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Расчетно-графическая курсовая работа должна быть оформлена в виде пояснительной записки, включающей в себя текст, соответствующие рисунки и графики на стандартном листе писчей бумаги формата А4 (210х297). Записка должна иметь титульный лист, выполненный по образцу, указанному в прилож.1. После титульного листа следует поместить исходные данные варианта, приведенные в табл.1,2 и чертеж расчетной гидравлической схемы (см. рис.1) со всеми обозначениями и с указанием номера заданного варианта. Затем излагается ход расчета. При этом сначала должна быть записана общая формула, а затем значения всех величин, входящих в нее. Для всех расчетных величин должны быть указаны единицы физических величин в СИ.

В конце записки помещаются графики, которые должны быть выполнены в карандаше на миллиметровой бумаге. Оси графиков являются масштабными шкалами и должны быть разделе-

ны на равные части. На осях указываются единицы физических величин. Образцы выполнения графиков приведены на рис.3,4.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ, ОДИНАКОВЫЕ ДЛЯ ВСЕХ ВАРИАНТОВ

$$R = 2{,}6\ м; \quad l = 10\ м; \quad R_п = 4\ м; \quad p_c = 101325\ Па; \quad d_ш = 75\ мм; \quad l_ш = 8\ м$$

(см.рис.1).

Исходные данные отдельных вариантов (варианты выбираются по порядковому номеру группового списка).

Таблица 1

№ п/п	h м	$p_0 \cdot 10^{-4}$, Н/м^2	d_1, мм	l_1, м	d_2, мм	l_2, м	$k_э$, мм	Жидкость
1	5	25	75	50	50	8	0,02	Вода
2	4	30	75	60	50	7	0,03	Керосин
3	5	20	75	70	50	8	0,04	Бензин
4	4	25	75	80	50	7	0,05	Спирт
5	5	30	75	90	50	8	0,06	Вода
6	4	25	75	100	50	7	0,07	Керосин
7	5	25	75	90	50	8	0,08	Бензин
8	4	20	75	80	50	7	0,09	Спирт
9	5	30	100	70	75	8	0,10	Вода
10	4	25	100	60	75	7	0,11	Керосин
11	5	25	100	50	75	8	0,12	Бензин
12	5	20	100	100	75	7	0,13	Спирт
13	4	25	100	90	75	8	0,14	Вода
14	5	30	100	80	75	7	0,15	Керосин
15	4	25	100	70	75	8	0,14	Бензин
16	5	30	100	60	75	7	0,13	Спирт
17	4	25	100	50	75	8	0,12	Вода
18	5	25	75	100	50	7	0,11	Керосин
19	4	20	75	90	50	8	0,10	Бензин
20	5	30	75	80	50	7	0,09	Спирт
21	4	25	75	70	50	8	0,08	Вода
22	5	25	75	60	50	7	0,07	Керосин
23	4	20	75	50	50	8	0,06	Бензин
24	5	30	75	100	50	7	0,05	Спирт
25	4	25	75	90	50	8	0,04	Вода

Таблица 2

Жидкость	Вода	Керосин	Бензин	Спирт
Плотность ρ, кг/м^3	998	820	750	790
Динамическая вязкость μ, Па·с	$1{,}00 \cdot 10^{-3}$	$1{,}49 \cdot 10^{-3}$	$0{,}643 \cdot 10^{-3}$	$1{,}20 \cdot 10^{-3}$

3. ПРОГРАММА ЗАДАНИЯ

1. Произвести аналитический и графоаналитический расчеты времени опорожнения сливной цистерны (рис.1) и сравнить результаты, полученные обоими методами.
2. Построить пьезометрическую линию для шлангопровода, магистрального и подающего трубопроводов.
3. Построить эпюру гидростатического давления на вертикальную половину боковой поверхности приемной цистерны при полном ее заполнении.

4. АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ОПОРОЖНЕНИЯ ЦИСТЕРНЫ

При аналитическом расчете времени опорожнения цистерны используется формула

$$\tau = \frac{\psi W}{\mu_{пр} F_2 \sqrt{2g \cdot 0{,}694R}} \tag{1}$$

$$\mu_{пр} = \frac{2}{\sqrt{\left(1 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \sum \zeta_2\right) + 4\frac{F_2^2}{F_1^2}\left(\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \sum \zeta_1\right) + 4\frac{F_2^2}{F_ш^2}\left(\lambda_ш \frac{l_ш}{d_ш} + \sum \zeta_ш\right)}}, \tag{2}$$

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{k_э}{d}\right)^{0{,}25}, \tag{3}$$

$$\sum \xi_1 = 2\zeta_{пов.} + 2\zeta_э + \zeta_{о.кл.} + \zeta_ф + \zeta_р, \tag{4}$$

$$\sum \zeta_2 = \zeta_{пов.} + \zeta_э, \tag{5}$$

$$\sum \zeta_ш = \zeta_{в.кл.} + \zeta_{пов.} + \zeta_{вн.р.}, \tag{6}$$

Найдем расход первого приближения

$$Q_1 = \mu_{пр} F_2 \sqrt{2g\left(h + 2R + \frac{p_0 - p_c}{\gamma}\right)}. \tag{7}$$

При определении расхода второго приближения коэффициенты трения λ_1, λ_2, $\lambda_ш$ находятся по формуле Альтшуля

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{k_э}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0{,}25}, \tag{8}$$

$$\begin{gathered} \mathrm{Re}_1 = \frac{4Q_1}{\nu\pi d_1}; \quad \mathrm{Re} = \frac{2Q_1}{\nu\pi d_2} = \frac{4q}{\nu\pi d_2}; \\ \mathrm{Re}_ш = \frac{4Q_1}{\nu\pi d_ш}; \quad q = \frac{Q_1}{2}; \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}, \end{gathered} \tag{9}$$

После нахождения коэффициентов трения по формуле (8) и пересчета $\mu_{пр}$ по формуле (2), по формуле (7) определяется расход второго приближения Q_{II}. Расхождение между расходами первого и второго приближений не должно превышать 3%, в противном случае необходимо рассчитать третье приближение. Установив окончательное значение расхода по формуле (1), уточним время истечения из сливной цистерны.

$$\tau = 2\frac{W}{n}\left(\frac{1}{Q_1' + Q_2'} + \frac{1}{Q_2' + Q_3'} + \ldots + \frac{1}{Q_n' + Q_{n+1}'}\right),$$

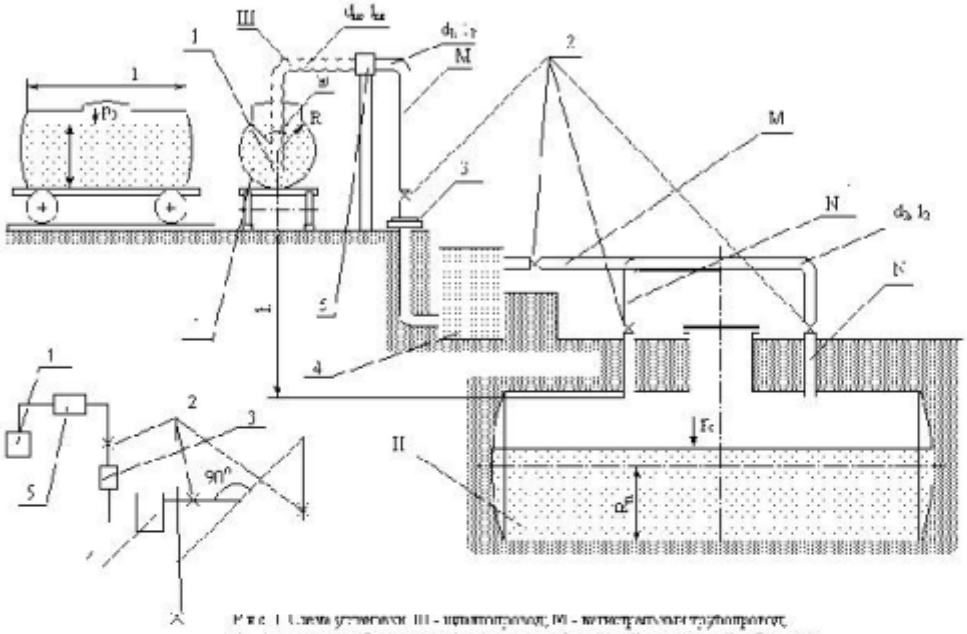

Рис. 1. Схема установки: III - шлангопровод; M - магистральный трубопровод; d_1, d_2 - подающие трубопроводы; 1 - всасывающий клапан; 2 - задвижка; 3 - обратный клапан; 4 - фильтр; 5 - переходник; I - плавная цистерна; II - приемная цистерна

6. ПОСТРОЕНИЕ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

При построении пьезометрической линии пьезометрические высоты нужно откладывать от оси трубопроводов. Удобно развернуть все трубопроводы в одну горизонтальную линию с условным обозначением всех местных сопротивлений. Максимальный напор определяется по формуле

$$H_{\max} = h + 2R + \frac{p - p_c}{\gamma}.$$

Общая длина трубопровода.

$$l = l_ш + l_1 + l_2.$$

$H_{\max}$ и l откладываются в масштабе соответственно по вертикальной и горизонтальной осям. На горизонтальную ось наносятся точки, где имеются местные сопротивления. Затем вычисляются потери напора. Линейные потери напора (на трение по длине) определяются по формуле Дарси-Вейсбаха

$$h_{лi} = \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{v_i^2}{2g},$$

где $v = \frac{Q}{F}$ для i-го участка трубопровода. Местные потери напора вычисляются по формуле

$$h_M = \zeta \frac{v^2}{2g}.$$

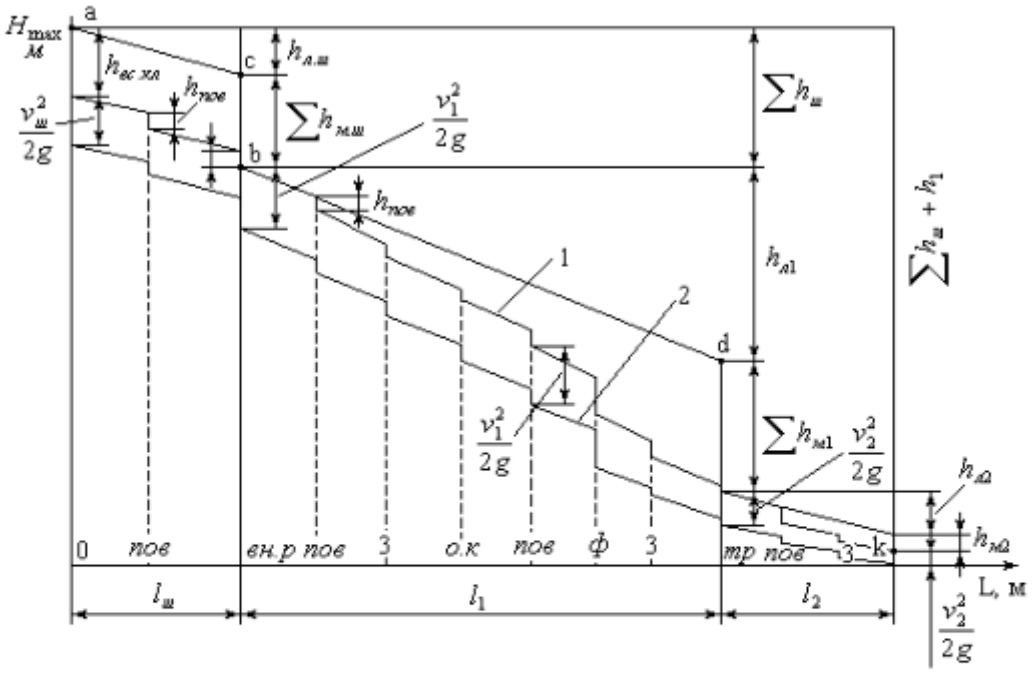

Рис. 1. Построение пьезометрической линии.

7. ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮРЫ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Гидростатическое давление определяется по формуле

$$p = p_c + \gamma h_1$$

где h меняется от $h = 0$ до $h = 2R_n$.

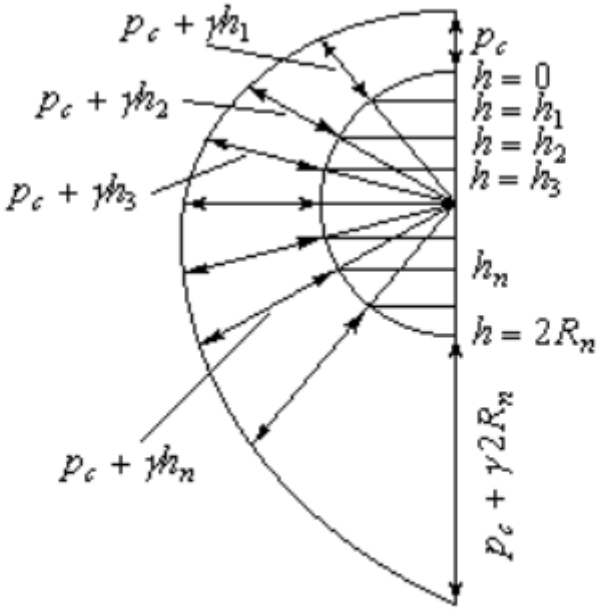

Рис. 2. Эпюра гидростатического давления.