

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета  Ряжских В.И.
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Гидрогазодинамика энергетических установок»

Направление подготовки 15.06.01 Машиностроение

Направленность 05.04.13 Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2020

Автор программы

 /Кретинин А.В./

Заведующий кафедрой
Нефтегазового
оборудования и
транспортировки

 /Валюхов С.Г./

Руководитель ОПОП

 /Валюхов С.Г./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели дисциплины

Цель изучения дисциплины – подготовка к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой аспиранта по направлению; формирование систематизированных знаний в области явлений, связанных с закономерностями движения жидкости и газа, при их взаимодействии с обтекаемыми твердыми телами или ограничивающими поверхностями или между самими жидкостями и газами; разработка методологических основ и принципов проведения расчетов при проектировании и эксплуатации энергоустановок

1.2 Задачи освоения дисциплины

Для достижения цели ставятся задачи:

1.2.1 овладение основами физического и математического моделирования гидрогазодинамических явлений и процессов, расчетами по типовым методикам, использование прикладного программного обеспечения для расчета параметров энергоустановок и других сложных технических объектов, использующих в качестве рабочего тела, теплоносителя или энергоносителя жидкости и газы;

1.2.2 изучение методов проектирования и их алгоритмов, связанных с созданием и эксплуатацией энергоустановок и других сложных технических объектов и их модернизацией, использующих в качестве рабочего тела, теплоносителя или энергоносителя жидкости и газы, улучшением их эксплуатационных характеристик, повышением экологической безопасности, улучшением условий труда, экономией ресурсов с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта их разработки;

1.2.3 формирование системных и профессиональных компетенций по подготовке будущих специалистов к обеспечению правильной эксплуатации и ремонту энергетического и технологического оборудования, использующего в качестве рабочего тела теплоносителя или энергоносителя жидкости и газы, к планированию и участию в проведении испытаний технологического оборудования

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Гидрогазодинамика энергетических установок» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Гидрогазодинамика энергетических установок» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2 – способностью формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники.

ПК-2 – способность разрабатывать математические и физические модели процессов, происходящих в объектах гидравлических систем, гидроприводов, пневматических приводов и систем гидропневмоавтоматики.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-2	знать основные физические свойства жидкостей и газов, общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов
	уметь рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течениях в каналах (трубах), проточных частях энергоустановок
	владеть методиками проведения нетиповых гидродинамических расчетов энергоустановок
ПК-2	знать область применения, типы и принципы действия гидро-, пневмо- и газовых машин, в которых работают законы гидрогазодинамики
	уметь - разрабатывать математические модели тепло- и массопереноса в жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течениях в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин, проводить гидравлический расчет трубопроводов и энергоустановок; - формулировать задачи явлений переноса, составлять соответствующие уравнения баланса; - решать задачи обработки экспериментальных данных и уметь составлять корректные физические и математические модели процессов и явлений энергетических систем, в которых существенно влияние гидрогазодинамических процессов

	владеть - методиками компьютерной динамики жидкости для гидродинамических расчетов гидравлических машин и гидропневмоагрегатов; - алгоритмами компьютерной динамики жидкости как основы функционирования программных комплексов вычислительной гидрогазодинамики
--	--

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Гидрогазодинамика энергетических установок» составляет 4 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		4			
Аудиторные занятия (всего)					
В том числе:					
Лекции	36	36			
Практические занятия (ПЗ)					
Лабораторные работы (ЛР)					
Самостоятельная работа	108	108			
Курсовой проект (работа) (есть, нет)					
Контрольная работа (есть, нет)					
Вид промежуточной аттестации (<u>зачет с оценкой</u>)					
Общая трудоемкость час	144	144			
	зач. ед. 4	4			

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	СРС	Всего, час
1.	Введение. Общие сведения	Общая характеристика гидрогазодинамических процессов в энергоустановках. Предмет, задачи и основные гипотезы гидрогазодинамики. Методы решения задач гидрогазодинамики. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности при эйлеровом и лагранжевом описании. Массовые и поверхностные силы.	4	8	12

		Закон сохранения количества движения. Тензор напряжений. Закон сохранения энергии. Интеграл Бернулли. Геометрическая интерпретация уравнения Бернулли.			
2.	Движение однофазных и двухфазных сред в трубопроводных системах	Характеристика условий работы парогенерирующих энергетических установок, анализ и особенности протекающих в них процессов. Свойства теплоносителей и рабочих сред. Гидравлические схемы. Принципы организации движения рабочих сред, их сопоставительный анализ. Замкнутые и разомкнутые контуры. Структура двухфазных потоков, пузырьковая, стержневая, эмульсионная, дисперсно-кольцевая, дисперсная. Расслоенная структура потока при движении в горизонтально обогреваемых трубах. Система дифференциальных уравнений одномерного течения в прямой круглой трубе постоянного сечения. Физическая модель движения однофазной среды в обогреваемой трубе. Расходные характеристики двухфазных потоков: линейная и массовая скорости, паросодержание, скорость циркуляции, плотность, приведенные скорости фаз, скорости смеси, относительная энтальпия потока. Методы определения напорного паросодержания и плотности реальной пароводяной смеси. Перепад давлений в трубных элементах. Потери напора от трения и местных сопротивлений. Суммарное изменение статического давления в коллекторах. Тепловые и гидродинамические условия работы теплообменников. Гидравлическая и тепловая неравномерности. Методы предотвращения тепловой и гидравлической разверок.	8	30	38
3.	Моделирование турбулентности	Неустойчивость ламинарных течений и возникновение турбулентности. Распределение скоростей при турбулентном течении в трубах. Модель пути перемешивания Л. Прандтля. Турбулентное течение между параллельными плоскостями (течение в плоской трубе). Расчет турбулентного пограничного слоя. Затопленные турбулентные струи. Модель турбулентности Spalart-Almaras (1 уравнение). Модель $k-\epsilon$ (2 уравнения). Модель $k-\omega$ (2 уравнения). Модель Transition $k-k_t-\omega$ (3 уравнения). Модель Transition SST (4 уравнения). Модель Reynolds Stress. Модель Scale-Adaptive Simulation. Модель Detached Eddy Simulation. Модель Large Eddy Simulation. Граничные условия для параметров турбулентности. Стандартные пристеночные функции. Модификации $k-\epsilon$ модели (Standard, RNG, Realizable). Модификации пристеночных функций (Standard Wall Functions, Scalable Wall Functions, Non-Equilibrium Wall Functions)	10	28	12
4.	Моделирование турбулентных течений в ANSYS	Модуль ANSYS CFX. Модуль Fluent. Моделирование турбулентных течений в проточной части центробежных насосов. Модели турбулентности, доступные в турбо режиме ANSYS	8	30	26
5.	Двухфазные течения в каналах различной направленности.	Области распространения двухфазных потоков. Основные определения и терминология. Режимы (структуры) потоков. Течение при дросселировании. Истинное объемное газосодержание и плотность смеси. Уравнения сохранения количества движения для двухфазного потока. Корреляции трения для различных структур двухфазного потока. Математическое моделирование течения	4	8	12

		нефтегазовой смеси.			
6.	Движение жидкостей и газов в пористых структурах	Основные законы фильтрации. Граничные и начальные условия в задачах подземной гидродинамики. Фильтрационные параметры пласта. Стационарные фильтрационные потоки. Свойства флюидов. Нелинейные законы фильтрации. Обобщенный закон Дарси.	2	4	6
Итого			36	108	144

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Гидрогазодинамика энергетических установок» не предусматривает выполнение реферата.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-2	основные физические свойства жидкостей и газов, общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов	Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы при зачете	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течении в каналах (трубах), проточных частях энергоустановок	Решение стандартных практических задач во время самостоятельной работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методиками проведения нетиповых гидродинамических расчетов энергоустановок	Решение прикладных задач в конкретной предметной области во время самостоятельной работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

ПК-2	знать область применения, типы и принципы действия гидро-, пневмо- и газовых машин, в которых работают законы гидрогазодинамики	Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы при зачете	Выполнение работ в срок, предусмотренны й в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренн ый в рабочих программах
	уметь - разрабатывать математические модели тепло- и массопереноса в жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течении в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин, проводить гидравлический расчет трубопроводов и энергоустановок; - формулировать задачи явлений переноса, составлять соответствующие уравнения баланса; - решать задачи обработки экспериментальных данных и уметь составлять корректные физические и математические модели процессов и явлений энергетических систем, в которых существенно влияние гидрогазодинамических процессов	Решение стандартных практических задач во время самостоятельной работы	Выполнение работ в срок, предусмотренны й в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренн ый в рабочих программах
	владеть - методиками компьютерной динамики жидкости для гидродинамических расчетов гидравлических машин и гидропневмоагрегатов; - алгоритмами компьютерной динамики жидкости как основы функционирования программных комплексов вычислительной гидрогазодинамики	Решение прикладных задач в конкретной предметной области во время самостоятельной работы	Выполнение работ в срок, предусмотренны й в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренн ый в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре по системе:

«отлично»;

«хорошо»;
«удовлетворительно»;
«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ОПК-2	основные физические свойства жидкостей и газов, общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течении в каналах (трубах), проточных частях энергоустановок	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	владеть методиками проведения нетиповых гидродинамических расчетов энергоустановок	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
ПК-2	знать область применения, типы и принципы действия гидро-, пневмо- и газовых машин, в которых работают законы гидрогазодинамики	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь - разрабатывать математические модели тепло- и массопереноса в жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течении в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин, проводить гидравлический расчет трубопроводов и энергоустановок; - формулировать задачи явлений переноса, составлять соответствующие уравнения баланса; - решать задачи обработки экспериментальных данных и уметь	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	составлять корректные физические и математические модели процессов и явлений энергетических систем, в которых существенно влияние гидрогазодинамических процессов					
	владеть - методиками компьютерной динамики жидкости для гидродинамических расчетов гидравлических машин и гидропневмоагрегатов; - алгоритмами компьютерной динамики жидкости как основы функционирования программных комплексов вычислительной гидрогазодинамики	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Укажите закон вязкого трения Ньютона-Петрова:

- а) $\tau = \mu (dU/dh)$;
- б) $\Delta p = \rho v c$;
- в) $F = \mu S (dU/dh)$;
- г) $p = p_0 + \gamma h$.

2. Для какого режима течения справедлив закон вязкого трения:

- а) ламинарного;
- б) переходного;
- в) турбулентного.

3. Укажите взаимосвязь динамической и кинематической вязкостей жидкости:

- а) $\nu = \mu g$;
- б) $\mu = \rho \nu$;

- в) $\nu = \mu g$;
г) $\mu = \rho/g$.

4. Как изменяется кинематическая вязкость капельных жидкостей с возрастанием температуры:

- а) увеличивается;
б) уменьшается;
в) не изменяется.

5. Как изменяется кинематическая вязкость газов с возрастанием температуры:

- а) увеличивается;
б) уменьшается;
в) не изменяется.

6. Назовите размерность динамической и кинематической вязкостей в системе единиц СИ:

- а) $Па \cdot с$; б) $Н/м^3$; в) $Н \cdot с/м^2$; г) $кГс \cdot с/м^2$;
д) $кгс/с$; е) $см^2/с$; ж) $м^2/с$; и) $дин \cdot с/см^2$.

7. Как изменяется время истечения исследуемой жидкости из вискозиметра Энглера при повышении ее температуры:

- а) увеличивается;
б) уменьшается;
в) не изменяется.

8. Какая вязкость исследуется на вискозиметре Энглера:

- а) динамическая;
б) кинематическая;
в) условная.

9. Почему температуру воды в опытах на вискозиметре Энглера выбирают равной $20^\circ C$:

- а) примерно соответствует температуре окружающей среды;
б) принимается за эталон.

10. Какое соотношение вязкости исследуемой жидкости с вязкостью воды при $20^\circ C$ должно выдерживаться в опытах:

- а) вязкость воды больше;
б) вязкость воды меньше;
в) вязкости равны.

11. Как изменяется вязкость капельных жидкостей с увеличением давления:

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) не изменяется.

12. Укажите выражение для определения градуса Энглера:

- а) $T_{\text{иссл.}}/T_{\text{вод.}}$; б) $t/t_{\text{вод.}}$; в) $\nu_{\text{иссл.}}/\nu_{\text{вод.}}$; г) $\mu/\mu_{\text{вод.}}$, где T - температура; t - время.

13. Укажите выражение для определения гидростатического давления в точке:

- а) F/S ; б) p/S ; в) $\lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S}$.

14. Укажите размерность давления в системе единиц СИ:

- а) Н; б) $\text{Н}/\text{м}^2$; в) мм. рт. ст.; г) мм. вод. ст.; д) Па; е) $\text{кгс}/\text{см}^2$.

15. Укажите основное уравнение гидростатики:

- а) $Xdx + Ydy + Zdz = 0$;
- б) $p = p_0 + \gamma(z - z_0)$;
- в) $p = p_0 + \rho h$,

где p_0 - давление на свободной поверхности жидкости.

16. Какое давление измеряется пьезометрами:

- а) абсолютное;
- б) избыточное;
- в) вакуумметрическое.

17. Что определяет выбор рабочей жидкости в жидкостных манометрах:

- а) барометрическое (атмосферное) давление;
- б) вязкость;
- в) предел измеряемых давлений.

18. Какое избыточное давление испытывает тело, погруженное в воду на глубину 10 метров:

- а) $2 \text{ кгс}/\text{см}^2$; б) 1 бар.; в) 10 м. вод. ст.; г) 20 м. вод. ст.; д) 1 атм.

19. Как изменяется давление по мере погружения в жидкость:

- а) уменьшается;
- б) остается постоянным;
- в) увеличивается.

20. Укажите значение физической атмосферы:

- а) 1 Па; б) $1 \text{ кгс}/\text{см}^2$; в) 760 мм. рт. ст.; г) 10 м. вод. ст.; д) $\text{Н}/\text{м}^2$; д) 735,6 мм. рт. ст.

21. По какому выражению определяется вакуумметрическое давление:

а) $p_{\text{БАР.}} - p_{\text{ИЗБ.}}$; б) $p_{\text{ИЗБ.}} + p_{\text{БАР.}}$; в) $p_{\text{БАР.}} - p_{\text{АБС.}}$;

г) γh ; д) $p_{\text{БАР.}} + \gamma \cdot h$,

где $p_{\text{БАР.}}$, $p_{\text{ИЗБ.}}$, $p_{\text{АБС.}}$ - барометрическое, избыточное и абсолютное давления, соответственно.

22. Укажите максимальное теоретическое значение вакуума:

а) 1 кгс/см^2 ; б) 1 кгс/см^2 ; в) 0 кгс/см^2 ; г) 2 кгс/см^2 .

23. Что понимается под относительным покоем жидкости:

а) жидкость находится в покое;

б) жидкость перемещается в сосуде;

в) жидкость перемещается вместе с сосудом.

24. Укажите уравнение поверхности уровня жидкости:

а) $V = \text{const}$; б) $Q = \text{const}$; в) $dT = 0$; г) $p = \text{const}$; д) $dp = 0$.

25. Что оказывает влияние на форму свободной поверхности жидкости, находящейся во вращающемся сосуде:

а) давление окружающей среды;

б) плотность жидкости;

в) температура жидкости;

г) скорость вращения сосуда;

д) количество жидкости, находящейся в сосуде.

26. Форму какой геометрической фигуры приобретает поверхность уровня жидкости, вращающейся вместе с цилиндрическим сосудом:

а) сфера; б) конус; в) параболоид; г) гиперболоид; д) цилиндр.

27. Зависит ли форма свободной поверхности при относительном покое от рода жидкости:

а) да; б) нет.

28. Что измеряют с помощью ротаметров:

а) ускорение;

б) перепад давления;

в) расход;

г) скорость.

29. Какой расход измеряется ротаметром:

а) объемный;

б) массовый;

г) весовой.

30. К какому типу измерительных преобразователей относятся расходомеры обтекания:

- а) переменного и постоянного перепада давления;
- б) тахометрические;
- в) электромагнитные;
- г) ультразвуковые.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. На чем основан принцип действия ротаметра:

- а) уравнивание поплавка в конической трубе динамическим напором струи;
- б) силовое воздействие набегающего потока измеряемой жидкости;
- в) вращение первичного элемента;
- г) связь между скоростью измеряемого потока и скоростью распространения звуковых колебаний.

2. Зависит ли высота подъема поплавка ротаметра от вязкости жидкости:

- а) да; б) нет.

3. Изменяется ли сила воздействия потока на поплавок ротаметра с изменением расхода жидкости:

- а) да; б) нет.

4. Что произойдет с верхним пределом измерения расхода при утяжелении поплавка:

- а) уменьшится; б) не изменится; в) увеличится.

5. Укажите уравнение Д.Бернулли:

- а) для элементарной струйки идеальной жидкости;
- б) для элементарной струйки реальной жидкости;
- в) для потока реальной жидкости.

1) $Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g};$

2) $Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} + h_w;$

3) $Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + \Delta h_w.$

6. Укажите выражение:

- а) для геометрического напора;
- б) для пьезометрического напора;

в) для скоростного напора.

1) $\rho \cdot V^2 / 2$; 2) $V^2 / 2g$; 3) Z ; 4) p / γ ; 5) $p_0 + \gamma \cdot h$; 6) $\gamma \cdot h$.

7. Укажите размерность гидростатического напора:

а) $H \cdot m / c$; б) m ; в) m^2 / c ; г) H ; д) $H \cdot m$.

8. Каков энергетический смысл уравнения Д.Бернулли для идеальной жидкости:

- а) закон сохранения количества движения;
- б) закон сохранения момента количества движения;
- в) закон сохранения механической энергии;
- г) уравнение баланса энергии.

9. Что учитывает коэффициент Кориолиса:

- а) неравномерность распределения скоростей по сечению потока;
- б) распределение расхода по сечению потока;
- в) распределение касательных напряжений по сечению потока.

10. Зависит ли коэффициент Кориолиса от режима течения жидкости:

а) да; б) нет.

11. Укажите размерность коэффициента гидравлического трения:

а) m ; б) m / c ; в) безразмерный; г) c .

12. Зависят ли потери напора на трение от длины трубопровода:

а) да; б) нет.

13. Укажите выражение для определения потерь напора на трение в случае установившегося движения жидкости:

а) $\frac{V \cdot d}{\nu}$; б) $\xi \cdot \frac{V^2}{2g}$; в) $\lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$.

14. Чем характерна область квадратичного сопротивления:

а) $\lambda = f(Re)$; б) $\lambda = f(\delta)$; в) $\lambda = f(Re, \delta)$.

15. Чем характерна область гидравлически гладких труб:

а) $\lambda = f(Re)$; б) $\lambda = f(\delta)$; в) $\lambda = f(Re, \delta)$.

16. Укажите зависимость коэффициента Дарси для круглых труб при ламинарном режиме течения жидкости:

а) $\lambda = \frac{64}{Re}$; б) $\lambda = \frac{96}{Re}$; в) $\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$; г) $\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d}\right)^{0,25}$.

17. Зависит ли коэффициент гидравлического трения от длины трубопровода:

а) да; б) нет.

18. Чем обусловлены местные потери энергии:

- а) изменением формы и размера трубы;
- б) изменением физических свойств жидкости;
- в) изменением скорости течения жидкости.

19. Укажите выражения для определения местных потерь напора:

- а) $64 / \text{Re}$; б) $\xi \cdot \frac{V^2}{2g}$; в) $\lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$; г) $\frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}$.

20. Зависят ли местные сопротивления от режима течения жидкости:

а) да; б) нет.

21. Зависит ли коэффициент местного сопротивления диффузора от угла раскрытия α :

а) да; б) нет.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. В каком сечении трубопровода А (рис. 1) скорость движения жидкости больше:

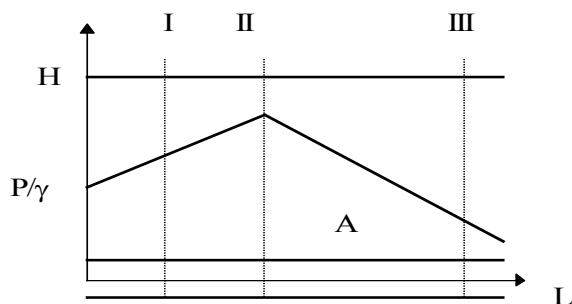


Рис. 1. Напорная и пьезометрическая линии

а) сечение I; б) сечение II; в) сечение III.

2. В каком сечении трубопровода А (рис. 1) давление больше:

а) сечение I; б) сечение II; в) сечение III.

3. Какому сечению трубопровода соответствуют напорная и пьезометрическая линии, приведенные на рис. 1:



4. Укажите напорную и пьезометрическую линии в случае течения жидкости в канале сечения, приведенного на рис. 2 для идеальной жидкости:

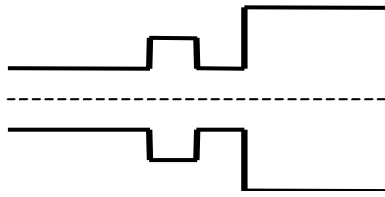
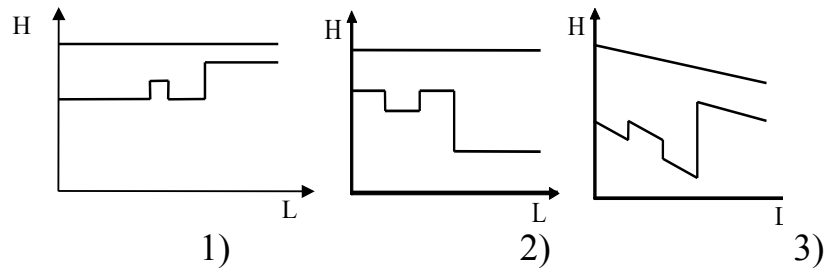


Рис. 2. Конфигурация трубопровода



5. Укажите напорную и пьезометрическую линии в случае течения жидкости в канале сечения, приведенного на рис. 2 для реальной жидкости:

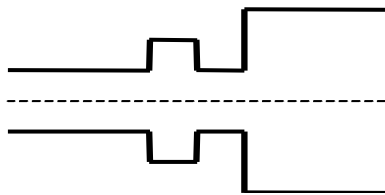
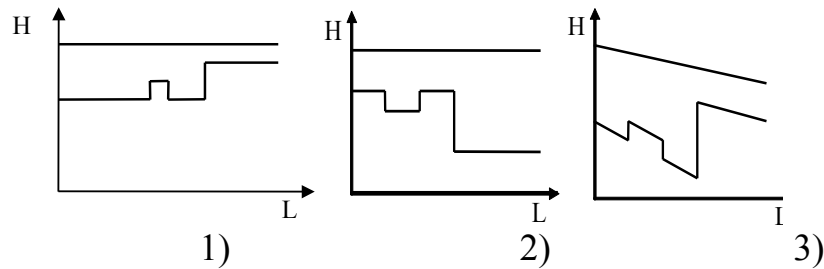
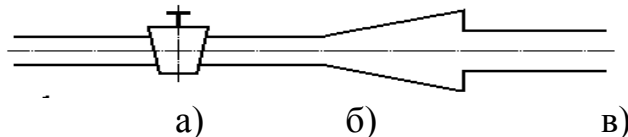


Рис. 2. Конфигурация трубопровода



6. Укажите на схеме (рис. 3) местные сопротивления:



7. Влияет ли шероховатость поверхности трубопровода на критическое число Рейнольдса:

а) да; б) нет.

8. Укажите критерий, выражающий отношение сил инерции к силам вязкости:

а) M ; б) St ; в) Eu ; г) Re ; д) Fr .

9. Что оказывает влияние на коэффициент местного сопротивления поворота трубы:

- а) материал стенки;
- б) смачиваемость поверхности;
- в) форма поперечного сечения трубы;
- г) угол поворота;
- д) физические свойства жидкости.

10. Что определяет профиль скоростей по сечению круглой трубы при ламинарном режиме течения:

- а) удельный вес жидкости;
- б) вязкость жидкости;
- в) шероховатость трубопровода.

11. Истинная мгновенная скорость в жидкости представляется в виде суммы:

- осредненной и локальной составляющих;
- средневзвешенной и неустановившейся составляющих;
- осредненной и пульсационной составляющих.

12. В процессе усреднения уравнений Навье-Стокса по времени, достаточно большим по сравнению с периодом пульсации, получаем уравнения:

- Лапласа;
- Рейнольдса;
- Шредингера.

13. Полные касательные напряжения в турбулентном потоке складываются из суммы:

- вязкостных и турбулентных;
- ньютоновских и неньютоновских;
- квазистационарных и неустановившихся.

14. Теория моделирования турбулентности Л. Прандтля основана на понятии:

- турбулентного напряжения;
- пути перемешивания;
- Лагранжевой скорости.

15. Формула Кармана предназначена для нахождения:

- профиля скорости в пограничном слое;
- длины пути перемешивания;
- динамической скорости.

16. Критическое число Рейнольдса определяет:

- зону заведомо устойчивого ламинарного режима течения;
- относительный размер вязкого ламинарного подслоя в пограничном слое;
- пространственный масштаб турбулентных пульсаций.

17. Какая модель не относится к моделированию турбулентности:

- k - ε модель;
- k - ω модель;
- VOF модель.

18. Формула Буссинеска связывает:

- турбулентную вязкость и гидравлический уклон;
- касательное напряжение и поперечный градиент усредненной скорости;
- усредненную и мгновенную скорости потока.

19. Формула Шифринсона предназначена для:

- расчета коэффициента гидравлического сопротивления в квадратичной зоне турбулентного режима;
- расчета турбулентной вязкости;
- расчета местных сопротивлений в турбулентном потоке.

20. В общем случае коэффициент гидравлического сопротивления при турбулентном течении в трубопроводе является функцией:

- температуры и напора;
- давления и плотности;
- критерия Рейнольдса и относительной шероховатости.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету с оценкой

1. Дифференцирование по времени при лагранжевом и эйлеровом описании. Материальная производная.
2. Переход от эйлерова описания к лагранжевому и обратно.
3. Уравнение неразрывности при эйлеровом и лагранжевом описании.
4. Тензор напряжений. Механический смысл тензора напряжений. Касательные и нормальные напряжения.
5. Силы, действующие в жидкости. Внешние и внутренние силы.
6. Уравнения баланса импульсов в интегральной и алгебраической формах.
7. Уравнения баланса импульсов в дифференциальной форме.
8. Уравнения баланса внутренней энергии в интегральной и алгебраической формах.
9. Уравнения баланса внутренней энергии в дифференциальной форме.
10. Интеграл Бернулли. Геометрическая интерпретация уравнения Бернулли.

11. Диаграммы изменения расхода, напора и полной энтальпии по длине трубопровода.
12. Потери напора в трубопроводах.
13. Компьютерное моделирование течения нефти в нефтепроводе.
14. Простые трубопроводы.
15. Расчет незамкнутого разветвленного трубопровода. Прямая задача.
16. Определение расходов жидкостей в узлах отбора для трубопровода с параллельными участками.
17. Решение прямой задачи для кольцевого трубопровода.
18. Гидравлический удар в трубах. Постановка задачи, методы решения.
19. Система уравнений течения газа в трубопроводе в одномерном приближении.
20. Уравнения состояния газа.
21. Гидравлический расчет газопроводов при больших перепадах давления.
22. Компьютерное моделирование течения газов в газопроводе.
23. Области распространения двухфазных потоков. Основные определения и терминология.
24. Режимы (структуры) течения двухфазных смесей в вертикальных и горизонтальных трубах.
25. Гидродинамические эффекты различных режимов течения газожидкостной смеси.
26. Методы измерения параметров газожидкостных потоков.
27. Уравнения сохранения количества движения для двухфазного потока.
28. Двухфазное течение при дросселировании.
29. Корреляции трения для различных структур двухфазного потока.
30. Стационарное течение нефтегазовой смеси в скважине. Система уравнений.
31. Основные уравнения для течения однородного сжимаемого флюида в пористой среде.
32. Схемы одномерных фильтрационных потоков.
33. Обобщенный закон Дарси для анизотропных сред.
34. Уравнение неустановившейся фильтрации однородного флюида по закону Дарси, функция Лейбензона.
35. Физические представления и математическое описание вытеснения одного флюида другим.
36. Осреднение параметров при записи уравнений Рейнольдса.
37. Турбулентные напряжения.
38. Модели турбулентности.
39. Модель Буссинеска.
40. «Новая» теория Прандтля.
41. Длина пути перемешивания.
42. Назначение, структура и функциональные возможности инструментария ANSYS CFX

43. Назначение, структура и функциональные возможности инструментария ANSYS Fluent
44. Турбулентный пограничный слой на пластине.
45. Турбулентные течения в круглых трубах.
46. Динамическая скорость турбулентного потока.
47. Вывод формул Никурадзе и Альтшуля
48. Модель турбулентности Spalart-Almaras (1 уравнение).
49. Модель k - ε (2 уравнения)
50. Модель k - ω (2 уравнения).
51. Модель Transition k - k_1 - ω (3 уравнения).
52. Модель Transition SST (4 уравнения)
53. Модель Reynolds Stress.
54. Модель Scale-Adaptive Simulation.
55. Модель Detached Eddy Simulation.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачёт с оценкой проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Общая характеристика гидрогазодинамических процессов в энергоустановках. Предмет, задачи и основные гипотезы гидрогазодинамики. Методы решения задач гидрогазодинамики. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности при эйлеровом и лагранжевом описании. Массовые и поверхностные силы. Закон сохранения количества движения. Тензор напряжений. Закон сохранения энергии. Интеграл Бернулли. Геометрическая интерпретация уравнения Бернулли.	ОПК-2, ПК-2	Тест, устный опрос, зачет
2	Характеристика условий работы парогенерирующих энергетических установок, анализ и особенности	ОПК-2, ПК-2	Тест, устный

	протекающих в них процессов. Свойства теплоносителей и рабочих сред. Гидравлические схемы. Принципы организации движения рабочих сред, их сопоставительный анализ. Замкнутые и разомкнутые контуры. Структура двухфазных потоков, пузырьковая, стержневая, эмульсионная, дисперсно-кольцевая, дисперсная. Расслоенная структура потока при движении в горизонтально обогреваемых трубах. Система дифференциальных уравнений одномерного течения в прямой круглой трубе постоянного сечения. Физическая модель движения однофазной среды в обогреваемой трубе. Расходные характеристики двухфазных потоков: линейная и массовая скорости, паросодержание, скорость циркуляции, плотность, приведенные скорости фаз, скорости смеси, относительная энтальпия потока. Методы определения напорного паросодержания и плотности реальной пароводяной смеси. Перепад давлений в трубных элементах. Потери напора от трения и местных сопротивлений. Суммарное изменение статического давления в коллекторах. Тепловые и гидродинамические условия работы теплообменников. Гидравлическая и тепловая неравномерности. Методы предотвращения тепловой и гидравлической разверок.		опрос, зачет
3	Неустойчивость ламинарных течений и возникновение турбулентности. Распределение скоростей при турбулентном течении в трубах. Модель пути перемешивания Л. Прандтля. Турбулентное течение между параллельными плоскостями (течение в плоской трубе). Расчет турбулентного пограничного слоя. Затопленные турбулентные струи. Модель турбулентности Spalart-Almaras (1 уравнение). Модель $k-\epsilon$ (2 уравнения). Модель $k-\omega$ (2 уравнения). Модель Transition $k-k_1-\omega$ (3 уравнения). Модель Transition SST (4 уравнения). Модель Reynolds Stress. Модель Scale-Adaptive Simulation. Модель Detached Eddy Simulation. Модель Large Eddy Simulation. Граничные условия для параметров турбулентности. Стандартные пристеночные функции. Модификации $k-\epsilon$ модели (Standard, RNG, Realizable). Модификации пристеночных функций (Standard Wall Functions, Scalable Wall Functions, Non-Equilibrium Wall Functions)	ОПК-2, ПК-2	Тест, устный опрос, зачет
4	Модуль ANSYS CFX. Модуль Fluent. Моделирование турбулентных течений в проточной части центробежных насосов. Модели турбулентности, доступные в турбо режиме ANSYS	ОПК-2, ПК-2	Тест, устный опрос, зачет
5	Области распространения двухфазных потоков. Основные определения и терминология. Режимы (структуры) потоков. Течение при дросселировании. Истинное объемное газосодержание и плотность смеси. Уравнения сохранения количества движения для двухфазного потока. Корреляции трения для различных структур двухфазного потока. Математическое моделирование течения нефтегазовой смеси.	ОПК-2, ПК-2	Тест, устный опрос, зачет
6	Основные законы фильтрации. Граничные и начальные условия в задачах подземной гидродинамики. Фильтрационные параметры пласта. Стационарные фильтрационные потоки. Свойства флюидов. Нелинейные законы фильтрации. Обобщенный закон Дарси.	ОПК-2, ПК-2	Тест, устный опрос, зачет

7.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на

бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

8. УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Кривченко, Григорий Израилевич. Гидравлические машины: Турбины и насосы [Текст] : учебник. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергоатомиздат, 1983. - 320 с. : ил. - Библиогр.: с. 312-314 (70 назв.). - Предм. указ.: с. 315-317. - 0-95.
2. Викторов, Г.В. Гидродинамическая теория решеток : Учеб. пособие. - М. : Высш. шк., 1969. - 368 с. : ил. - 10.00.
3. Григорьев, С.В. Гидравлические машины и компрессоры : Лабораторный практикум: Учеб. пособие. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2007. - 99 с. - 33-00.
4. Кузнецов, В. А. Основы гидрогазодинамики : Учебное пособие / Кузнецов В. А. - Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012. - 108 с. - ISBN 978-5-361-00168-2. URL: <http://www.iprbookshop.ru/28374.html>
5. Дроздов, И.Г. Гидрогазодинамика (практические применения) : Учеб. пособие. Ч.1. - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. - 223 с. - 194-25; 250 экз.
6. Дроздов, И.Г. Гидрогазодинамика (практические применения) : Учеб. пособие. Ч.2. - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. - 213 с. - 185-58; 250 экз.
7. Дроздов, И.Г. Проектирование энергоустановок : Учеб. пособие. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2008. - 161 с. - 38-00.
8. Дейч, М.Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. - Москва : Энергия, 1970. - 384 с. : ил. - 1-29.

9. Гидрогазодинамика [Электронный ресурс] : Учебное пособие / А. В. Муравьев, Н. Н. Кожухов, И. Г. Дроздов; ред. А. В. Баракова. - Гидрогазодинамика ; 2025-03-01. - Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2018. - 314 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 01.03.2025 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-7731-0698-2. URL: <http://www.iprbookshop.ru/93255.html>
10. Гидрогазодинамика : Сб. ст. / Ред. Л. Г. Лойцянский. - Москва-Ленинград : Машиностроение, 1966. - 132 с. - 0-60.
11. Газотурбинные установки быстроходных судов / Под ред. А. Г. Курзона. - Ленинград : Судостроение, 1969. - 330 с. - 00-00.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. Электронная информационно-образовательная среда университета
<http://eios.vorstu.ru>
2. Консультирование посредством электронной почты
3. Использование презентаций при проведении лекционных занятий
4. Приобретение знаний в процессе общения со специалистами в области математического моделирования на профильных специализированных сайтах (форумах)
5. Программное обеспечение: **Лицензия ПО ANSYS** (Лиц. № 1020620 ВГТУ)
ANSYS DesignModeler
ANSYS CFD Premium
ANSYS Mechanical Enterprise
ANSYS HPC Pack
ANSYS Geometry Interface for Parasolid
ANSYS Student (бесплатная версия)
www.ansys.com/Industries/Academic/Student+Product
6. Рекомендуемая литература в виде электронных ресурсов представлена на сайте ВГТУ (электронный каталог научно-технической библиотеки):
http://catalog.vorstu.ru/MarcWeb/Work.asp?ValueDB=41&DisplayDB=vgtu_lib
7. Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ с компьютеров ВУЗа) <http://e.lanbook.com>
8. Информационно-аналитическая система SCINCE INDEX
<http://elibrary.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

9.1	Специализированная лекционная аудитория 306/2, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой
9.2	Проектно-конструкторский центр по договору между ОАО Турбонасос и ФГБОУ ВПО ВГТУ №132/316-13 от 29 ноября 2013 года на создание и обеспечение деятельности базовой кафедры нефтегазового оборудования и транспортировки (базовой кафедры) созданной при базовой организации (компьютеры – 15 шт, МФУ А0))

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Гидрогазодинамика энергетических установок» читаются лекции, выполняется самостоятельная работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится путем зачета с оценкой.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализированы разделы 8.1 и 8.2 в части обеспеченности учебной литературы и состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	30.08.2018	
2	Актуализированы разделы 8.1 и 8.2 в части обеспеченности учебной литературы и состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2019	
3	Актуализированы разделы 8.1 и 8.2 в части обеспеченности учебной литературы и состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2020	