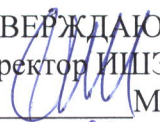


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИИШЭ

Матвеев А.С.
« 30 » 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2017 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ заочная

Турбины тепловых и атомных электрических станций

Направление подготовки/ специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Теплоэнергетика и теплотехника		
Специализация	Тепловые электрические станции		
Уровень образования	высшее образование - бакалавриат		
Курс	4,5	семестр	8,9,10
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	12		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	26	
	Практические занятия	24	
	Лабораторные занятия	18	
	ВСЕГО	68	
Самостоятельная работа, ч		364	
ИТОГО, ч		432	

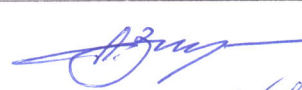
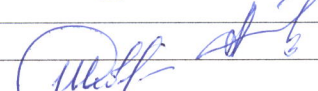
Вид промежуточной аттестации

**Экз.,
зачет, ДЗ,
КП**

Обеспечивающее
подразделение

**НОЦ И.Н.
Бутакова**

Заведующий кафедрой -
руководитель НОЦ И.Н. Бутакова
на правах кафедры
Руководитель ООП
Преподаватель

	Заворин А.С.
	Антонова А.М.
	Шевелев С.А.

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 6. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Результаты освоения ООП	Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций)	
			Код	Наименование
ПК(У)-3	Способность участвовать в проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных разработок энергообъектов и их элементов по стандартным методикам	Р14	ПК(У)-3.В1	Владеет опытом обоснования проектных решений при разработке теплоэнергетического оборудования ТЭС
			ПК(У)-3.У1	Умеет объяснять влияние условий работы теплоэнергетического оборудования ТЭС на принимаемые конструктивные решения
			ПК(У)-3.З1	Знает критерии выбора проектных решений при создании ТЭС и их оборудования
			ПК(У)-3.В2	Владеет опытом использования основных законов и уравнений процессов, происходящих в теплоэнергетических установках
			ПК(У)-3.У2	Умеет применять методики и алгоритмы для расчета схемы и теплоэнергетического оборудования ТЭС
			ПК(У)-3.З2	Знает закономерности процессов, происходящих в оборудовании ТЭС и электростанции в целом

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части учебного плана образовательной программы.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД1	Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при постановке и решении задач анализа работы турбин тепловых и атомных электростанций	ПК(У)-3
РД2	Разрабатывать математические модели процессов в турбинах и турбинных ступенях, обосновывать конструкторские решения элементов и узлов паровых турбин	ПК(У)-3
РД3	Иметь первичные навыки проектирования паровой турбины, ее деталей и узлов	ПК(У)-3

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Общие сведения о турбине и турбинной установке	РД1	Лекции	2
		Практические занятия	0
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	20
Раздел 2. Тепловой процесс турбинной ступени	РД1, РД2, РД3	Лекции	10
		Практические занятия	12
		Лабораторные занятия	10
		Самостоятельная работа	120
Раздел 3. Многоступенчатые паровые турбины	РД2	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	58

Раздел 4. Работа турбин при переменных режимах	РД1, РД2	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	56
Раздел 5. Турбины для комбинированного производства энергии	РД2, РД3	Лекции	2
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	30
Раздел 6. Основы регулирования паровых турбин	РД2	Лекции	2
		Практические занятия	0
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	34
Раздел 7. Конденсационные устройства паровых турбин	РД1	Лекции	2
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	36

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Общие сведения о турбине и турбинной установке

Предмет и задачи курса. Современное состояние теплоэнергетики и перспективы ее развития. Роль паро- и газотурбинных установок в энергетике и других отраслях. История развития турбостроения. Принцип работы турбинного двигателя. Типовая конструкция паровой турбины, ее основные узлы.

Темы лекций:

1. Введение. Постановка задачи исследования дисциплины. История развития турбостроения. Основы устройства современных паровых турбин.
2. Схема и цикл простейшей паротурбинной установки. Мощности и КПД турбины и турбинной установки.

Раздел 2. Тепловой процесс турбинной ступени

Основные уравнения потока для сжимаемой жидкости: состояния, неразрывности, количества движения, сохранения энергии. Понятие плоскопараллельного и пространственного течения. Параметры полного торможения. Конфузорное и диффузорное течение потока. Критические параметры потока. Суживающиеся и расширяющиеся каналы. Формы каналов турбинных решеток, отклонение потока в косом срезе. Потери профильные, концевые, волновые, от нестационарности потока. Коэффициент потери энергии в решетке, коэффициент расхода. Степень реактивности ступени. Треугольники скоростей. Усилия на рабочих лопатках ступени. Относительный КПД на лопатках ступени и факторы, его определяющие. Безразмерное отношение скоростей как критерий экономичности ступени и его оптимальное значение. Оптимальный располагаемый теплоперепад ступени. Ступени с длинными лопатками, методы профилирования лопаток. Дополнительные потери в ступени и относительный лопаточный КПД. Ступени скорости.

Темы лекций:

3. Течение газа в каналах турбинных ступеней. Основные уравнения движения сжимаемой жидкости.
4. Характеристики потока при изэнтропийном расширении газа в каналах. Отношение давлений на канал. Критические параметры потока,
5. Реальное течение газа в каналах.
6. Геометрические и газодинамические характеристики турбинных решеток.
7. Потери профильные, концевые, волновые.
8. Обобщенные газодинамические характеристики решеток. Расширение потока в косом

срезе турбинных решеток.

9. Степень реактивности ступени. Треугольники скоростей ступени.
10. Усилие, действующее на рабочие лопатки.
11. Относительный лопаточный КПД ступени. Безразмерное отношение скоростей как критерий экономичности ступени и его оптимальное значение. Оптимальный располагаемый теплоперепад ступени.
12. Ступени скорости. Определение геометрических размеров турбинных ступеней.
13. Ступени с длинными лопатками. Упрощенное уравнение радиального равновесия. Методы профилирования лопаток турбинной ступени.
14. Относительный внутренний КПД ступени. Дополнительные потери в ступени.

Темы практических занятий:

1. Расчет теоретического процесса расширения в суживающихся соплах.
2. Расчет теоретического процесса расширения в расширяющихся соплах.
3. Расчет действительного процесса расширения в суживающихся соплах.
4. Расчет действительного процесса расширения в расширяющихся соплах.
5. Геометрические характеристики турбинных решеток с цилиндрическим бандажом.
6. Геометрические характеристики турбинных решеток с коническим бандажом.
7. Тепловой расчет турбинной ступени.
8. Расчет оптимального безразмерного отношения скоростей турбинной ступени.
9. Определение геометрических размеров ступени. Часть 1.
10. Определение геометрических размеров ступени. Часть 2
11. Профилирование лопаток турбинных ступеней. Часть 1.
12. Профилирование лопаток турбинных ступеней. Часть 2.

Названия лабораторных работ:

1. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 1: роторы.
2. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 2: диски.
3. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 3: лопатки.
4. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 4: лопатки.
5. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 5: корпуса.
6. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 6: муфты.
7. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 7: валоповоротное устройство.
8. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 8: подшипники.
9. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 9: клапаны.
10. Исследование характеристик турбинной ступени.

Раздел 3. Многоступенчатые паровые турбины

Схема устройства активной и реактивной турбины. Основные преимущества многоступенчатых турбин. Использование потери с выходной скоростью в ступенях. Коэффициент возврата тепла. Понятие регулирующих и не регулируемых ступеней. Основы выбора конструкции турбин. Деление ступеней конденсационных турбин на группы. Предельная и единичная максимальная мощность турбины. Способы увеличения предельной мощности. Концевые уплотнения турбин. Схема отвода и подвода пара в уплотнении. Типы концевых уплотнений. Расчетная мощность турбины. Выбор теплоперепада и типа регулирующей ступени. Предварительная оценка размеров первой и последней нерегулируемых ступеней. Определение числа ступеней и распределение теплоперепада между ними. Особенности расчета ступеней отдельных групп конденсационных турбин. Ступени большой веерности. Выбор частоты вращения, числа валов и цилиндров турбины. Осевые усилия в турбинах и способы их уравнивания

Темы лекций:

15. Преимущества и недостатки многоступенчатых турбин. Коэффициент возврата

теплоты.

16. Осевые усилия, действующие на ротор турбины и методы их уравнивания. Концевые уплотнения паровых турбин.
17. Основы конструирования проточной части многоступенчатых турбин. Определение числа ступеней и распределение теплоперепадов по ступеням турбины.
18. Предельная мощность турбины. Способы получения мощности турбины выше предельной.

Темы практических занятий:

13. Предельная мощность однопоточной турбины.
14. Определение структурной схемы турбины.
15. Определение числа ступеней паровой турбины.

Названия лабораторных работ:

11. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 10: влагоудаление.
12. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 11: опорные подшипники.
13. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 12: упорные подшипники.
14. Изучение конструкций паровых турбин. Часть 13: уплотнения.

Раздел 4. Работа турбин при переменных режимах

Понятие переменного (нерасчетного) режима. Переменный режим суживающихся и расширяющихся решеток. Сетка относительных расходов. Предельное отношение давлений для расширяющейся решетки. Изменение степени реакции и расхода пара через ступень. Распределение давлений и теплоперепадов в ступенях турбины при изменении режима работы. Влияние отклонения начального давления пара при разных системах парораспределения. Изменение экономичности и надежности. КПД ступени при изменении режима ее работы. Детальный расчет переменного режима работы ступени. Приближенные методы расчета.

Темы лекций:

19. Работа турбины при переменном режиме. Детальный расчет проточной части турбины на переменный режим.
20. Детальный расчет проточной части турбины на переменный режим.
21. Распределение давлений и теплоперепадов по ступеням турбины при переменном расходе пара. Изменение КПД в переменном режиме.
22. Тепловой процесс турбины при переменном пропуске пара и различных системах парораспределения: дроссельной, сопловой, обводной.

Темы практических занятий:

16. Расчет переменного режима турбинной ступени.
17. Расчет переменного режима работы турбины с дроссельной системой парораспределения.
18. Расчет переменного режима работы турбины с сопловой системой парораспределения

Названия лабораторных работ:

15. Исследование сопловой системы парораспределения паровой турбины. Часть 1.
16. Исследование сопловой системы парораспределения паровой турбины. Часть 2.
17. Исследование сопловой системы парораспределения паровой турбины. Часть 3.

Раздел 5. Турбины для комбинированного производства энергии
--

Турбины с противодавлением и условия их применения. Связь между противодавлением и нагрузкой турбины. Особенности конструктивного оформления. Турбины с промежуточными регулируемыми отборами пара. Процессы расширения пара в h -с- диаграмме. Диаграммы режимов. Конструктивное оформление турбин. Поворотные диаграммы. Турбины с

двухступенчатым отопительным отбором пара. Диаграмма режимов. Конструкции теплофикационных турбин.

Темы лекций:

23. Противодавленческие турбины.

24. Турбины с одним регулируемым отбором, турбины с двумя регулируемыми отборами.

Темы практических занятий:

19. Особенности расчета проточной части противодавленческих турбин.

20. Особенности расчета проточной части турбин с регулируемыми отборами пара.

Раздел 6. Основы регулирования паровых турбин
--

Задачи регулирования турбин. Уравнение моментов турбогенератора. Условие постоянства частоты вращения. Статистическая характеристика системы регулирования. Диаграмма Щегляева. Степень неравномерности и нечувствительности. Рациональная форма статической характеристики. Работа регулирования при параллельном включении генераторов. Основы статического проектирования регулирования. Переходные процессы регулирования турбин. Особенности регулирования теплофикационных турбин. Поворотные диафрагмы. Задачи и виды защит паровых турбин. Защита от повышения скорости вращения. Реле осевого сдвига. Предохранительные и обратные клапаны. Стопорные и отсеченные клапаны. Сервомоторы клапанов.

Темы лекций:

25. Саморегулирование турбогенератора. Статическая характеристика системы регулирования. Диаграмма Щегляева. Схема регулирования с однократным усилением.

26. Нечувствительность системы регулирования. Механизм управления турбиной. Параллельная работа турбогенераторов в энергосистеме. Регулирование турбин с регулируемым отбором пара. Системы защиты турбины.

Раздел 7. Конденсационные устройства паровых турбин
--

Назначение конденсационных устройств. Схема конденсационной установки и ее элементы. Типы конденсаторов. Конструкция поверхностного конденсатора. Воздухоотсасывающие устройства. Температура конденсата и его переохлаждение. Характеристика пароструйного эжектора. Общий порядок теплового расчета конденсатора. Тепловой баланс конденсатора. Выбор кратности охлаждения и скорости движения воды в трубках. Расчет поверхности охлаждения, числа ходов воды, числа трубок и их длины, размеров трубной доски.

Темы лекций:

27. Состав и назначение элементов конденсационной установки паровой турбины. Факторы, определяющие давление в конденсаторе.

28. Переохлаждение конденсата. Эжектор, многоступенчатый эжектор. Паровые и водоструйные эжекторы.

Темы практических занятий:

21. Расчет водяного конденсатора паровой турбины.

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Выполнение домашних заданий, расчетно-графических работ и домашних контрольных работ;
- Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям;
- Выполнение курсовой работы или проекта, работа над междисциплинарным проектом; (сократить – оставить только «Выполнение курсового проекта»)
- Исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- Подготовка к контрольной работе и коллоквиуму, к зачету, экзамену.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

1. Паровые и газовые турбины для электростанций. / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний; под ред. А.Г. Костюка. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
Схема доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010259.html>.
2. Ляшков, Василий Игнатьевич. Тепловые двигатели и нагнетатели : учебное пособие / В. И. Ляшков. — Москва: Абрис, 2012. — 167 с.: ил.. — Библиогр.: с. 166.. — ISBN 978-5-4372-0008-7.
URL:<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C225582>
3. Щегляев, Андрей Владимирович. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкции турбин учебник: в 2 кн.: / А. В. Щегляев . – 7-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: АТП, Кн. 1 . – 2015. – 384 с.: ил.
URL: <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C311994>
4. Щегляев, Андрей Владимирович. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкции турбин учебник: в 2 кн.: / А. В. Щегляев . – 7-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: АТП, Кн. 2 . – 2015. – 416 с.: ил.
URL: <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C311997>
5. Атомные электростанции [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. М. Антонова, А. В. Воробьёв; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2-е изд., перераб. и доп.. – 1 компьютерный файл (pdf; 3.9 MB). – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ из сети НТБ ТПУ. – Системные требования: Adobe Reader.
Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext3/m/2010/m43.pdf>

Дополнительная литература

1. Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом на магистральных газопроводах : учебное пособие / Б. П. Поршаков [и др.]; Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина (РГУ Нефти и Газа). — Москва: Недра, 2010. — 246 с.: ил.. — Библиогр.: с. 244-245.. — ISBN 978-5-8365-0358-1.
2. Чумаков, Юрий Александрович. Теория и расчет транспортных газотурбинных двигателей : учебник / Ю. А. Чумаков. — Москва: Форум Инфра-М, 2012. — 448 с.: ил.. — Высшее образование. — Библиогр.: с. 441-442.. — ISBN 978-5-91134-673-7. — ISBN 978-5-16-006055-2.

3. Трухний, А.Д.. Парогазовые установки электростанций : учебник / Трухний А.Д.. – Москва: МЭИ, 2017. – 675 с.. – ISBN 978-5-383-01057-0. Схема доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010570.html>

Журналы

«Теплоэнергетика».
«Газотурбинные технологии».
«Электрические станции».
«Энергохозяйство за рубежом»;
«Известия вузов», серия: Энергетика;
«Мировая энергетика»;
«Энергобезопасность и энергосбережение»;
«Теплоэнергетика» – реферативный журнал;
International Journal of Heat and Mass Transfer;
International Journal of Heat and Fluid Flow;
International Journal of Thermal Sciences;
Experimental Thermal and Fluid Science;
Applied Energy;
Energy and Buildings;
Energy Conversion and Management;
International Journal of Engineering Science;
Energy;
Applied Thermal Engineering;

6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. Сайт специальности «Тепловые электрические станции»
<http://www.03-ts.ru/>;
2. WebCT – Тепловые электрические станции
<http://e-le.lcg.tpu.ru/webct/public/home.pl>;
3. Бесплатная электронная библиотека Ивановского государственного энергетического университета
<http://www.library.ispu.ru/elektronnaya-biblioteka>;
4. Крупнейшая бесплатная электронная интернет библиотека для "технически умных" людей <http://www.tehlit.ru/>;
5. Электронная Энциклопедия Энергетики
<http://twi.mpei.ac.ru/ochkov/trenager/trenager.htm>;
6. Сайт кафедры ТЭС, Новосибирский государственный технический университет
<http://tes.power.nstu.ru/>.

Используемое лицензионное программное обеспечение:

1. Презентации лекций в среде PowerPoint.
2. Компьютерные программы:
3. Программа исследования турбинной ступени;
4. программа определения термодинамических и теплофизических параметров воды и водяного пара;
5. «regress» – программа регрессионного анализа для обработки результатов эксперимента;
6. WaterSteamPro – программа теплофизических и термодинамических свойств рабочего тела;

7. «TABL1», «TFS», «TFM» – для расчета свойств теплоносителей.

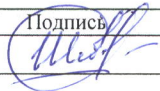
7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 38	Крепление для проектора Perless PRG-UNV - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 30 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 301	Доска аудиторная поворотная - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 52 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.
3.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 302	Комплект учебной мебели на 42 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.
4.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 32	Комплект учебной мебели на 18 посадочных мест; Компьютер - 20 шт.; Проектор - 1 шт.

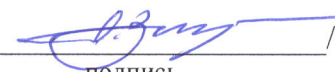
Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» специализация «Тепловые электрические станции» (приема 2017 г., заочная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	Подпись	ФИО
Ст. преподаватель НОЦ И.Н. Бутакова		С.А. Шевелев

Программа одобрена на заседании кафедры Атомных и тепловых электростанций Энергетического института (протокол № 19 от «18» 05. 2017 г.).

Заведующий кафедрой – руководитель НОЦ И.Н. Бутакова
на правах кафедры
д.т.н., профессор

 /А.С. Заворин/
подпись

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании НОЦ И.Н. Бутакова (протокол)
2018/2019 уч. год	Внесены изменения в раздел Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	протокол № 11 от 19.06.2018
2019/2020 уч. год	Внесены изменения в раздел Учебно-методическое, информационное обеспечение дисциплины и материально-техническое обеспечение дисциплины	протокол № 29 от 30.05.2019
2020/2021 учебный год	Изменена форма документов основных образовательных программ, в том числе УМК дисциплин	Приказ по ТПУ №127-7/об от 06.05.2020