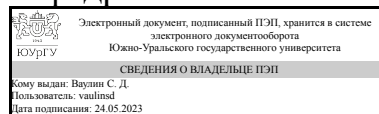


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



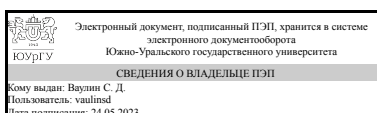
С. Д. Ваулин

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** 1.Ф.С0.06 Конструирование жидкостных ракетных двигательных установок  
**для специальности** 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей  
**уровень** Специалитет  
**специализация** Проектирование жидкостных ракетных двигателей  
**форма обучения** очная  
**кафедра-разработчик** Двигатели летательных аппаратов

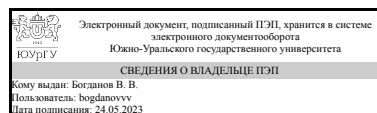
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, утверждённым приказом Минобрнауки от 12.08.2020 № 979

Зав.кафедрой разработчика,  
д.техн.н., проф.



С. Д. Ваулин

Разработчик программы,  
старший преподаватель



В. В. Богданов

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины: изучение принципов и методов проектирования конструкций двигательных установок на базе жидкостных ракетных двигателей, их оптимизации, ознакомление и изучение существующих конструкций. Задачи дисциплины: сформировать у студентов конструкторское мышление, позволяющее создавать конструкции изделий нового поколения, анализировать и принимать оптимальные проектно-конструкторские решения как в области отдельных важных узлов конструкции, так и изделия в целом. Ознакомить с методами проектирования конструкций двигательных установок на базе жидкостных ракетных двигателей, с методиками расчета деталей и узлов изделий.

## Краткое содержание дисциплины

Этапы разработки агрегатов и узлов ДУ ЖРД и технической документации. Компоновочные схемы ДУ ЖРД. Конструирование ЖРД, силовой рамы ДУ, системы управления вектором тяги.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2 Проектирование, конструирование и расчет двигательных установок летательных аппаратов, в том числе космических, и их составных частей, включая утилизацию жидкостного ракетного двигателя	Знает: методики проектирования и конструирования ЖРДУ, особенности конструкции современных и перспективных ЖРДУ Умеет: применять компьютерные технологии для разработки ЖРДУ; конструировать ЖРДУ в соответствии с задачами, выполняемыми в составе ЛА (КА), их узлы и агрегаты; формулировать задания для расчета и конструирования ЖРДУ их узлов и агрегатов; выполнять расчеты и чертежи Имеет практический опыт: разработки конструкции узлов ЖРДУ и выпуска конструкторской документации согласно требованиям ЕСКД с применением современных средств автоматизации, выбора адекватных параметров разрабатываемой ЖРДУ с целью увязки с параметрами летательного аппарата
ПК-5 Поиск, систематизация и анализ информации по конструированию изделий ракетно-космической техники, их составленных частей, систем и агрегатов	Знает: современные тенденции и методики проектирования и конструирования ЖРДУ Умеет: осуществлять научно-технический поиск информации в области ЖРДУ, готовить отчет о результатах научно-технического поиска (доклад/аналитическая записка); работать с различными источниками информации, включая патентную и научную литературу на русском и иностранных языках Имеет практический опыт: работы с источниками информации (в том числе электронными посредством сети Интернет),

применения полученной информации при конструировании новых ЖРДУ

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
<p>Устройство летательных аппаратов, Теория и расчет жидкостных ракетных двигателей, Конструирование летательных аппаратов, Проектирование ракетных двигателей на твердом топливе, Конструирование жидкостных ракетных двигателей</p>	<p>Не предусмотрены</p>

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
<p>Конструирование жидкостных ракетных двигателей</p>	<p>Знает: ЕСКД при выполнении графических и текстовых конструкторских документов, современные тенденции и методики проектирования и конструирования ЖРД Умеет: применять компьютерные технологии для разработки ракетных двигателей и их отдельных узлов; конструировать ЖРД, их узлы и агрегаты; формулировать задания для расчета и конструирования ЖРД, их узлов и агрегатов; выполнять расчеты и чертежи, осуществлять научно-технический поиск информации в области ЖРД, готовить отчет о результатах научно-технического поиска (доклад/аналитическая записка); работать с различными источниками информации, включая патентную и научную литературу на русском и иностранных языках Имеет практический опыт: разработки конструкции узлов ЖРД и выпуска конструкторской документации согласно требованиям ЕСКД с применением современных средств автоматизации, работы с источниками информации (в том числе электронными посредством сети Интернет), применения полученной информации при конструировании новых ЖРД</p>
<p>Теория и расчет жидкостных ракетных двигателей</p>	<p>Знает: теоретические основы и расчетные методики по проектированию жидкостных ракетных двигателей (ЖРД); основные виды жидкостных ракетных топлив; основные характеристики рабочих процессов в ЖРД; виды ЖРДУ и их назначение в составе ЛА; принципы регулирования ЖРД Умеет: рассчитывать основные характеристики ЖРД и ЖРДУ, их узлов</p>

	и агрегатов; формулировать задания для расчета для расчета и конструирования ЖРД и ЖРДУ Имеет практический опыт: расчета ЖРД и математического моделирования ЖРД и ЖРДУ, их узлов и агрегатов
Устройство летательных аппаратов	Знает: классификацию деталей и механизмов летательных аппаратов; основные требования к деталям, узлам и механизмам летательных аппаратов; общие принципы и правила конструирования деталей и узлов механизмов летательных аппаратов Умеет: обосновывать выбор устройств в изделиях ракетно-космической техники; проводить конструирование деталей и узлов механизмов летательных аппаратов с использованием системного подхода Имеет практический опыт: расчета параметров деталей и узлов механизмов летательных аппаратов; разработки рабочих и сборочных чертежей деталей и узлов механизмов летательных аппаратов
Конструирование летательных аппаратов	Знает: конструкцию, работу и процессы, происходящие в летательных аппаратах Умеет: выбирать требуемые расчетные схемы для решения задач проектирования летательных аппаратов Имеет практический опыт: методами анализа и синтеза, подходами инженерных основ создания летательных аппаратов
Проектирование ракетных двигателей на твердом топливе	Знает: основы проектирования, конструктивные схемы и характеристики рабочего процесса ракетных двигателей на твердом топливе; условия эксплуатации и технического обслуживания ракетных двигателей на твердом топливе, о тенденциях создания принципиально новых материалов и технологических процессов для изготовления ответственных элементов ракетных двигателей на твердом топливе Умеет: использовать методы анализа влияния параметров рабочего процесса на эффективность термодинамического цикла ракетных двигателей на твердом топливе Имеет практический опыт: термодинамического и газодинамического расчетов продуктов сгорания твердого топлива, расчета внутренней баллистики двигателя твердого топлива, расчета теплозащитного покрытия; изучения конструкций ракет с двигателями твердого топлива

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 ч., 93,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
--------------------	-------------	------------------------------------

		Номер семестра
		10
Общая трудоёмкость дисциплины	180	180
<i>Аудиторные занятия:</i>	80	80
Лекции (Л)	32	32
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	32	32
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	86,5	86,5
Подготовка к промежуточной аттестации	21,5	21,5
Курсовой проект	40	40
Проработка лекционного материала	25	25
Консультации и промежуточная аттестация	13,5	13,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен,КП

## 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Конструирование элементов ЖРДУ	2	2	0	0
2	Конструкция ЖРДУ	16	6	6	4
3	Конструктивные схемы ЖРДУ	42	18	18	6
4	Топливные баки	9	3	4	2
5	Системы управления ДУ и ее агрегаты	11	3	4	4

### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Цикл создания и эксплуатации ЖРДУ. Технические средства автоматизации. Возможности САПР. Организация и этапы разработки элементов конструкции ЖРДУ. Техническая документация.	2
2	2	Конструктивные особенности ЖРДУ. Классификация ЖРДУ Требования к конструкции ЖРДУ Основные параметры ЖРДУ. Основные конструктивные элементы ПГС. Обозначение элементов ПГС. Требования к ПГС Элементы ПГС, принципиальные схемы ПГС	6
3	3	Конструктивные особенности схемы ЖРДУ с вытеснительной и турбонасосной подачей Элементы конструкции вытеснительной системы подачи и системы наддува. Элементы конструкции турбонасосной системы подачи. Материалы используемые в ЖРДУ и его элементах	6
4	3	Конструкции ЖРДУ первой ступени.	2
5	3	Конструкции ЖРДУ верхних ступеней.	2
6	3	Особенности конструкции ЖРДУ многоразовых КА	2
7	3	Конструкции ЖРДУ космических аппаратов. Объединённые ДУ КА.	6
11	4	Типы баков. Заборные устройства. Элементы топливных баков. Материалы, используемые в конструкции баков.	3
12	5	Конструкции элементов управления вектором тяги. Требования к элементам управления вектором тяги. Классификация элементов управления вектором тяги.	3

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	2	Разработка ПГС ЖРДУ. Обоснование элементов ПГС. Разработка принципиальной схемы ПГС ЖРДУ	6
2	3	Конструирование ЖРДУ: выбор оптимального давления, схемы подачи компонентов топлива; определение основных проектных характеристик ЖРДУ.	6
3	3	Конструирование элементов ЖРДУ: маршевого ЖРД, управляющих ЖРД, агрегатов системы питания.	6
4	3	Компоновка ЖРДУ: разработка несущей конструкции (рамы). Чертеж общего вида.	6
5	4	Определение объёма топливных баков. Компоновка топливных баков и их элементов.	4
6	5	Выбор конструкции и параметров системы управления вектором тяги.	4

## 5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	2	Изучение ПГС ЖРДУ с турбонасосной подачей компонентов топлива	2
2	2	Изучение ПГС ЖРДУ с вытеснительной подачей компонентов топлива	2
3	3	Изучение конструкции ЖРДУ 11Д58	2
4	3	Изучение конструкции ЖРДУ С5.35	2
5	3	Изучение конструкции ЖРДУ КА	2
6	4	Изучение конструкции баков и арматуры на примере ЖРДУ ракеты УР-100	2
7	5	Изучение конструкции систем управления вектором тяги ЖРДУ	4

## 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к промежуточной аттестации	См. учебно-методические материалы в электронном виде, пункты 1, 2, 3, 4, 5, 6	10	21,5
Курсовой проект	См. учебно-методические материалы в электронном виде, пункты 1, 2, 3, 4, 5, 6	10	40
Проработка лекционного материала	См. учебно-методические материалы в электронном виде, пункты 1, 2, 3, 4, 5, 6	10	25

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	10	Курсовая работа/проект	КП1: Проектирование двигательной установки с заданными параметрами	-	100	<p>Ответ предоставляется в письменном виде очно в составе комплекта документации, предусмотренного методическими указаниями по курсовому и дипломному проектированию и зафиксированному в задании на курсовое проектирование. ответ рассматривается комиссией преподавателей в установленном порядке.</p> <p>Обучающийся получает 100 баллов (за КП1) в случае, если: предоставлен полный комплект документации, обучающийся выступил с докладом о проделанной работе и ответил на все вопросы комиссии преподавателей (процедура защиты курсового проекта). Балл может быть уменьшен в зависимости от допущенных ошибок. Критерии оценивания:</p> <p>а) комплект документации оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ и нормативных документов университета, комиссия преподавателей не выявила замечаний к проделанной работе -- баллы не снимаются;</p> <p>б) комплект документации оформлен с отклонениями от требований ГОСТ и нормативных документов университета -- минус 10 баллов;</p> <p>в) комиссия выявила ошибки расчётного характера (неверно определённые проектные параметры двигательной установки) -- минус 10 баллов;</p> <p>г) комплект документации неполон: отсутствует часть предусмотренных методическими указаниями расчётов, неполная графическая часть и т. д. -- минус 10 баллов за каждый выявленный случай;</p> <p>д) обучающийся затруднился с ответами на вопросы комиссии -- минус 20 баллов максимум. При определении вычитаемых баллов используется расчётная формула <math>X = 20 * (N_{\text{неверн}} / N_{\text{общ}})</math>, где <math>N_{\text{неверн}}</math> - количество вопросов, на которые обучающийся не смог дать ответ,</p>	кур-совые проекты

						<p>Нобщ -- общее количество вопросов, заданных комиссией, X -- количество вычитаемых баллов.</p> <p>В случае непредоставления комплекта документации обучающийся получает 0 баллов.</p>	
2	10	Текущий контроль	КТ1: Контрольный опрос	1	100	<p>Ответ предоставляется в письменном виде очно, либо с использованием "Электронного ЮУрГУ".</p> <p>Обучающийся получает 100 баллов (за КТ1) в случае, если: предоставлен верный ответ на вопрос. За неверный ответ на вопрос балл может быть уменьшен в зависимости от допущенных ошибок. Критерии оценивания ответа:</p> <p>а) обучающийся дал полный, исчерпывающий ответ -- баллы не снимаются;</p> <p>б) обучающийся затруднился с ответом на одну из частей вопроса, либо ошибся при ответе на дополнительный наводящий вопрос - минус 40 баллов;</p> <p>в) в случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.</p>	экзамен
3	10	Текущий контроль	КТ2: Моделирование двигательной установки	1	100	<p>Электронная 3D модель выполняется в соответствии с выданным заданием на курсовое проектирование (КП1) и должна соответствовать проектируемой двигательной установке.</p> <p>Ответ предоставляется в электронном виде в форме стандартного файла твердотельной параметрической модели (стандарт: STEP, IGES) очно, либо с использованием "Электронного ЮУрГУ" и оценивается по приведённым критериям. Согласно качеству ответа обучающемуся выставляется рейтинг.</p> <p>Обучающийся получает 100 баллов в случае, если: электронная 3D модель предоставлена в срок и содержит все требуемые элементы (см. ФОС КТ2). Балл уменьшается согласно приведённому списку:</p> <p>а) в модели отсутствует какой-либо узел или агрегат, требуемый согласно заданию на проектируемый двигатель (камера, газогенератор, система топливоподачи и т. д.) -- минус 5 баллов за каждый отсутствующий элемент;</p>	экзамен



						б) геометрия основных узлов (расчёт которых проводится в рамках спец. части курсового проектирования: камера, газогенератор, турбонасосный агрегат и т. д.) не соответствует расчётной -- минус 10 баллов; в) модель представлена с опозданием относительно срока сдачи -- минус 10 баллов.  В случае непредоставления модели обучающийся получает 0 баллов.	
4	10	Текущий контроль	КТЗ: Контроль посещаемости занятий дисциплины	0,5	100	Рейтинг выставляется автоматически на основании журнала посещаемости "Электронного ЮУрГУ".	экзамен
5	10	Промежуточная аттестация	ПА1: Экзамен	-	100	Итоговый балл промежуточной аттестации определяется «Электронным ЮУрГУ» на основании баллов, полученных при прохождении контрольных точек КТ1...КТЗ с учётом весовых коэффициентов.	экзамен

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	При проведении мероприятия ПА1 обучающемуся предоставляется дополнительная попытка выполнить задания контрольных точек КТ1...КТ2 в случае их невыполнения в течение периода обучения.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения
курсовые проекты	Оценивается пояснительная записка и графическая часть (чертежи, плакаты) согласно приведённой шкале оценивания КП1 (см. ФОС КП1).	В соответствии с п. 2.7 Положения

## 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ				
		1	2	3	4	5
ПК-2	Знает: методики проектирования и конструирования ЖРДУ, особенности конструкции современных и перспективных ЖРДУ	+	+	+	+	+
ПК-2	Умеет: применять компьютерные технологии для разработки ЖРДУ; конструировать ЖРДУ в соответствии с задачами, выполняемыми в составе ЛА (КА), их узлы и агрегаты; формулировать задания для расчета и конструирования ЖРДУ их узлов и агрегатов; выполнять расчеты и чертежи	+	+	+	+	+
ПК-2	Имеет практический опыт: разработки конструкции узлов ЖРДУ и выпуска конструкторской документации согласно требованиям ЕСКД с применением современных средств автоматизации, выбора адекватных параметров разрабатываемой ЖРДУ с целью увязки с параметрами летательного аппарата	+	+	+	+	+
ПК-5	Знает: современные тенденции и методики проектирования и	+	+	+	+	+

	конструирования ЖРДУ					
ПК-5	Умеет: осуществлять научно-технический поиск информации в области ЖРДУ, готовить отчёт о результатах научно-технического поиска (доклад/аналитическая записка); работать с различными источниками информации, включая патентную и научную литературу на русском и иностранных языках	++	++	++	++	++
ПК-5	Имеет практический опыт: работы с источниками информации (в том числе электронными посредством сети Интернет), применения полученной информации при конструировании новых ЖРДУ	++	++	++	++	++

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Алемасов, В. Е. Теория ракетных двигателей Учебник для вузов Под ред. В. П. Глушко. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989. - 464 с. ил.
2. Беляев, Н. М. Расчет пневмогидравлических систем ракет. - М.: Машиностроение, 1983. - 219 с. ил.
3. Добровольский, М. В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования Текст учеб. для вузов по направлению "Авиа-и ракетостроение", специальности "Ракет. двигатели" "Двигатели летат. аппаратов" М. В. Добровольский : под ред. Д. А. Ягодникова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 486, [1] с. ил.

#### б) дополнительная литература:

1. Овсянников, Б. В. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей Учеб. для авиац. спец. вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. - 375 с. ил.
2. Добровольский, М. В. Жидкостные ракетные двигатели: Основы проектирования Учеб. пособие для вузов. - М.: Машиностроение, 1968. - 395, [1] с. ил.

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

Не предусмотрены

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Не предусмотрены

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
---	----------------	--	----------------------------

1	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Расчет и конструирование агрегатов пневматических и пневмогидравлических систем. Пневмосистемы. Источники сжатого газа : учебное пособие / А. В. Чернышев. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 50 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/52154">https://e.lanbook.com/book/52154</a> (дата обращения: 09.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Турбонасосные агрегаты жидкостного ракетного двигателя : учебное пособие / Д. А. Жуйко. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2017. — 218 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/147506">https://e.lanbook.com/book/147506</a> (дата обращения: 09.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Теория и проектирование турбонасосного агрегата. Расчет шнекоцентробежного насоса : учебное пособие / Д. А. Жуйков, А. А. Кишкин. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2018. — 96 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/147504">https://e.lanbook.com/book/147504</a> (дата обращения: 09.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Теория и расчет жидкостных ракетных двигателей. Расчет охлаждения камеры жидкостного ракетного двигателя : учебное пособие / М. И. Толстопятов. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2020. — 88 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/165905">https://e.lanbook.com/book/165905</a> (дата обращения: 09.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования : учебник / М. В. Добровольский. — 3-е изд., доп. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2016. — 461 с. — ISBN 978-5-7038-4145-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/106355">https://e.lanbook.com/book/106355</a> (дата обращения: 09.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Основы теории и проектирования жидкостных ракетных двигателей малой тяги : учебное пособие : в 2 частях / А. Г. Минашин, Б. Б. Петрикевич ; под редакцией Б. Б. Петрикевича. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, [б. г.]. — Часть 2 — 2014. — 45 с. — ISBN 978-5-7038-4015-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/62055">https://e.lanbook.com/book/62055</a> (дата обращения: 09.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	110 (2)	ПК, проектор, экран
Лабораторные занятия	100 (2в)	Стенды, макеты, техническое описание
Лекции	306 (2)	ПК, проектор, экран