

**ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Иванов В.А.**

**ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ  
ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ.**

**Методические указания к освоению дисциплины**

---

**Челябинск  
2021**

---

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА «ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ»

В.А. Иванов

**ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ  
ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ**  
Методические указания к освоению дисциплины

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2021

**Топологическая оптимизация элементов конструкций:**  
методические указания к освоению дисциплины / В.А. Иванов. –  
Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – 31 с.

Методические указания являются руководством к освоению студентами дисциплины «Топологическая оптимизация элементов конструкций». Содержит материалы по практическим занятиям, а также выполнению самостоятельной работы студентами.

Методические рекомендации предназначены для студентов очной формы обучения при подготовке по магистерской программе направления 22.04.02 Metallurgy, 15.04.01 Machine Building and 15.04.02 Technological machines and equipment.

© Издательский центр ЮУрГУ, 2021.

## **1. Цели и задачи дисциплины**

**Цель:** формирование у студентов комплекса знаний, умений и навыков направленных на топологическую оптимизацию деталей и узлов промышленного оборудования с учетом их функционального назначения, условий эксплуатации, материалоемкости, технологии и трудоемкости их изготовления.

**Задачи:**

- изучить основные факторы определяющие конструктивный облик изделия, критерии оптимизации;
- изучить методы топологической оптимизации деталей и узлов промышленного оборудования;
- ознакомиться с основными программными продуктами реализующими методы топологической оптимизации;
- на практике освоить технологию топологической оптимизации деталей и узлов промышленного оборудования.

## **Краткое содержание дисциплины**

Дисциплина включает в себя следующие основные разделы:

1. Конструктивный облик изделия: влияющие факторы, критерии оптимизации.
2. Методы топологической оптимизации: основные принципы, область применения, ограничения.
3. Основные программные решения для топологической оптимизации элементов конструкций.

В разделе 1 рассматриваются общие принципы конструирования промышленного оборудования и основные факторы определяющие конструктивный облик изделия (функциональное назначения, условия эксплуатации, технология изготовления, трудоемкость изготовления, материалоемкость); обзорно рассматриваются основные расчеты кинематики и динамики механизмов, расчеты на прочность, долговечность, тепловые расчеты; обзорно рассматриваются субтрактивные, традиционные формообразующие и аддитивные технологии и их влияние на конструктивный облик изделия; выводятся критерии оптимизации элементов конструкции.

В разделе 2 вводится понятие топологическая оптимизация, рассматриваются основные методы топологической оптимизации (Level-Set, ESO/BESO, SIMP), их особенности и ограничения.

В разделе 3 дается обзор основных программных продуктов для топологической оптимизации элементов конструкций. Рассматриваются примеры типовых задач топологической оптимизации. Порядок подготовки исходных моделей, постановки и решения задач топологической оптимизации, финальной обработки результатов топологической оптимизации.

Содержание дисциплины разработано с учетом профессионального стандарта «Специалист в области технологического обеспечения полного цикла производства объёмных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них», утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты Российской

Федерации от 03.02.2014 № 72н.

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

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-4 Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности	<p>Знает: методы использования информации для подготовки и принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности</p> <p>Умеет: самостоятельно искать, анализировать и отбирать необходимую информацию, организовывать, преобразовывать, сохранять и передавать ее</p> <p>Имеет практический опыт: принятия решений по оптимизации элементов конструкций</p>

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Нет	Не предусмотрены

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

Нет

## 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 36,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		3
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72
<i>Аудиторные занятия:</i>	32	32
Лекции (Л)	16	16
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	35,75	35,75
с применением дистанционных образовательных технологий	0	
Подготовка к зачёту	5,75	5.75
Подготовка к семинару.	10	10

Семестровое задание. Проектирование и оптимизация конструкции технологической машины.	20	20
Консультации и промежуточная аттестация	4,25	4,25
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет

## 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Конструктивный облик изделия: влияющие факторы, критерии оптимизации	10	6	4	0
2	Методы топологической оптимизации: основные принципы, область применения, ограничения	8	6	2	0
3	Основные программные решения для топологической оптимизации элементов конструкций	14	4	10	0

### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Общие принципы конструирования промышленного оборудования и основные факторы определяющие конструктивный облик изделия. Критерии оптимизации элементов конструкций	2
2	1	Основные расчеты кинематики и динамики механизмов, расчеты на прочность, долговечность (износ, усталостные разрушения), тепловые расчеты	2
3	1	Субтрактивные, традиционные формообразующие и аддитивные технологии и их влияние на конструктивный облик изделия	2
4	2	Топологическая оптимизация: терминология, основные концепции, основные методы (Level-Set, ESO/BESO, SIMP). Методы ESO/BESO, особенности реализации, ограничения	2
5	2	Топологическая оптимизация: методы Level-Set, особенности реализации, ограничения	2
6	2	Топологическая оптимизация: методы SIMP, особенности реализации, ограничения	2
7	3	Обзор основных программных продуктов для топологической оптимизации элементов конструкций. Примеры типовых задач топологической оптимизации.	2
8	3	Порядок подготовки исходных моделей, постановки и решения задач топологической оптимизации, финальной обработки результатов топологической оптимизации.	2

### 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
-----------	-----------	---	--------------

1,2	1	Семинар "Конструктивный облик изделий: влияние технологии"	4
3	2	Топологическая оптимизация: сравнительная характеристика основных методов	2
4,5	3	Топологическая оптимизация нагруженной детали типа кронштейн: подготовка геометрии, постановка задачи топологической оптимизации, постобработка результатов.	4
6,7,8	3	Топологическая оптимизация детали типа тонкостенный сосуд нагруженный внутренним давлением и осевой силой: подготовка геометрии, постановка задачи топологической оптимизации, постобработка результатов.	6

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 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 зачёту	<p>1. Щуров, И. А. Твёрдотельное моделирование с использованием программы Solidworks учеб. метод. пособие И. А. Щуров ; Юж.-Урал. гос. ун-т; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2007. - 27, [2] с. ил. 2. Гнездилов, С. Г. Моделирование оптимальной топологии деталей устройств : методические указания / С. Г. Гнездилов. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 52 с. — ISBN 978-5-7038-4821-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/103417">https://e.lanbook.com/book/103417</a> (дата обращения: 24.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей. 3. Лесин, В.В. Основы методов оптимизации : учебное пособие / В.В. Лесин, Ю.П. Лисовец. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 344 с. — ISBN 978-5-8114-1217-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/86017">https://e.lanbook.com/book/86017</a> (дата обращения: 10.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей. 4. Пояркова, Е.В. Механика материалов и основы конструирования : учебное пособие / Е.В. Пояркова, Л.С. Диньмухаметова. — 2-е изд. — Москва :</p>	3	5,75



	ФЛИНТА, 2017. — 276 с. — ISBN 978-5-9765-3385-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/97104">https://e.lanbook.com/book/97104</a> (дата обращения: 10.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей. 5. Конспект лекций.		
Подготовка к семинару.	1. Должиков, В. П. Технологии наукоемких машиностроительных производств : учебное пособие / В. П. Должиков. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-2393-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/168969">https://e.lanbook.com/book/168969</a> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей. 2. Гини, Э. Ч. Специальные технологии литья : учебное пособие / Э. Ч. Гини, А. М. Зарубин, В. А. Рыбкин. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2010. — 367 с. — ISBN 978-5-7038-3383-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/106438">https://e.lanbook.com/book/106438</a> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей. 3. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением : учебное пособие для вузов / Г. Г. Чернышов, Д. М. Шашин, В. И. Гирш [и др.] ; под редакцией Г. Г. Чернышова, Д. М. Шашина. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-6853-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/152649">https://e.lanbook.com/book/152649</a> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей. 4. Лазерные аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров, Р. С. Третьяков ; под редакцией А. Г. Григорьянца. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2018. — 278 с. — ISBN 978-5-7038-4976-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/172807">https://e.lanbook.com/book/172807</a> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим	3	10

	<p>доступа: для авториз. пользователей. 5. Обработка металлов давлением : учебник / Б. А. Романцев, А. В. Гончарук, Н. М. Вавилкин, С. В. Самусев. — Москва : МИСИС, 2008. — 960 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/117037">https://e.lanbook.com/book/117037</a> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей. 6. Сосенушкин, Е. Н. Прогрессивные процессы объемной штамповки : монография / Е. Н. Сосенушкин. — Москва : Машиностроение, 2011. — 480 с. — ISBN 5-217-03346-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/3318">https://e.lanbook.com/book/3318</a> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.</p>		
<p>Семестровое задание. Проектирование и оптимизация конструкции технологической машины.</p>	<p>1. Щуров, И. А. Твердотельное моделирование с использованием программы Solidworks учеб. метод. пособие И. А. Щуров ; Юж.-Урал. гос. ун-т; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2007. - 27, [2] с. ил. 2. Гнездилов, С. Г. Моделирование оптимальной топологии деталей устройств : методические указания / С. Г. Гнездилов. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 52 с. — ISBN 978-5-7038-4821-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/103417">https://e.lanbook.com/book/103417</a> (дата обращения: 24.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей. 3. Лесин, В.В. Основы методов оптимизации : учебное пособие / В.В. Лесин, Ю.П. Лисовец. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 344 с. — ISBN 978-5-8114-1217-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/86017">https://e.lanbook.com/book/86017</a> (дата обращения: 10.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей. 4. Пояркова, Е.В. Механика материалов и основы конструирования : учебное пособие / Е.В. Пояркова, Л.С. Диньмухаметова. — 2-е изд. — Москва : ФЛИНТА, 2017. — 276 с. — ISBN 978-5-9765-3385-1. — Текст : электронный //</p>	3	20

	Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/97104">https://e.lanbook.com/book/97104</a> (дата обращения: 10.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей. 5. Конспект лекций.		
--	--	--	--

## 6. Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация

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	3	Текущий контроль	Контрольные вопросы к разделу 1	1	100	Контрольные вопросы к разделу включают в себя 5 вопросов, каждый оценивается максимум в 20 баллов. Критерии оценивания ответа на вопрос: 0 баллов - нет ответа на вопрос 5 баллов - ответ на вопрос дан частично, имеются логические и фактические ошибки, ответ опирается только на материалы лекции, отсутствует критическая оценка данных, нет примеров. 10 баллов - ответ на вопрос дан полностью, но есть логические или фактические ошибки, ответ опирается только на материалы лекции, имеется критическая оценка известным данным, приведены примеры. 15 баллов - ответ на вопрос дан полностью, но есть незначительные неточности, ответ опирается только на русскоязычные источники информации, в том числе материалы лекции, даны ссылки на использованные источники информации, есть критическая оценка известных данных, приведены примеры. 20 баллов - дан исчерпывающий ответ на вопрос, информация взята из нескольких источников, в том числе на иностранном языке, приведены ссылки на источники информации, проведена критическая оценка известных данных, приведены примеры.	зачет
2	3	Текущий	Контрольные	1	100	Контрольные вопросы к разделу	зачет

		контроль	вопросы к разделу 2			<p>включают в себя 5 вопросов, каждый оценивается максимум в 20 баллов.</p> <p>Критерии оценивания ответа на вопрос:</p> <p>0 баллов - нет ответа на вопрос</p> <p>5 баллов - ответ на вопрос дан частично, имеются логические и фактические ошибки, ответ опирается только на материалы лекции, отсутствует критическая оценка данных, нет примеров.</p> <p>10 баллов - ответ на вопрос дан полностью, но есть логические или фактические ошибки, ответ опирается только на материалы лекции, имеется критическая оценка известным данным, приведены примеры.</p> <p>15 баллов - ответ на вопрос дан полностью, но есть незначительные неточности, ответ опирается только на русскоязычные источники информации, в том числе материалы лекции, даны ссылки на использованные источники информации, есть критическая оценка известных данных, приведены примеры.</p> <p>20 баллов - дан исчерпывающий ответ на вопрос, информация взята из нескольких источников, в том числе на иностранном языке, приведены ссылки на источники информации, проведена критическая оценка известных данных, приведены примеры.</p>	
3	3	Текущий контроль	Контрольные вопросы к разделу 3	1	100	<p>Контрольные вопросы к разделу включают в себя 5 вопросов, каждый оценивается максимум в 20 баллов.</p> <p>Критерии оценивания ответа на вопрос:</p> <p>0 баллов - нет ответа на вопрос</p> <p>5 баллов - ответ на вопрос дан частично, имеются логические и фактические ошибки, ответ опирается только на материалы лекции, отсутствует критическая оценка данных, нет примеров.</p> <p>10 баллов - ответ на вопрос дан полностью, но есть логические или фактические ошибки, ответ опирается только на материалы лекции, имеется критическая оценка известным данным, приведены примеры.</p> <p>15 баллов - ответ на вопрос дан полностью, но есть незначительные неточности, ответ опирается только на русскоязычные источники информации, в том числе материалы лекции, даны</p>	зачет

						ссылки на использованные источники информации, есть критическая оценка известных данных, приведены примеры. 20 баллов - дан исчерпывающий ответ на вопрос, информация взята из нескольких источников, в том числе на иностранном языке, приведены ссылки на источники информации, проведена критическая оценка известных данных, приведены примеры.	
4	3	Текущий контроль	Семинар: Конструктивный облик изделия: влияние технологий	1	100	<p>Выступление с докладом на семинаре - максимум 40 баллов. Вопросы к докладчикам - максимум 30 баллов Участие в дискуссии - максимум 30 баллов</p> <p>Требования к выступлению: 1. Доклад должен быть структурирован. В докладе должно быть полностью раскрыто основное содержание темы. Дана краткая характеристика технологии. Приведены примеры реализации технологии. Формализованы требования к конструкции деталей или узлов получаемых по рассматриваемой технологии. Сделаны выводы. Доклад должен сопровождаться презентацией. Время доклада - 5 минут. 2. Презентация к докладу должна полностью отражать содержание доклада, иметь понятную структуру, быть аккуратно оформлена, оформление не должно затруднять восприятие информации. В презентации должны быть ссылки на использованные источники. 3. Ответы на вопросы. Продолжительность раунда вопросов из аудитории - 5 минут. Ответы на вопросы должны быть краткими по существу, по возможности сопровождаться иллюстрирующими примерами.</p> <p>Штрафные баллы за выступление: -1 балл: за отсутствие четкой структуры доклада, нет введения, нет выводов. -10 баллов не раскрыто основное содержание темы доклада. -5 баллов: не дана характеристика технологии, не приведены примеры реализации технологии, не формализованы требования к</p>	зачет

					<p>конструкции деталей или узлов получаемых по рассматриваемой технологии.</p> <p>- 1 балл превышено время доклада на 1-2 минуты.</p> <p>- 2 балла превышено время доклада на 2-3 минуты.</p> <p>- 5 баллов превышено время доклада на более чем 3 минуты.</p> <p>- 5 баллов отсутствует презентация</p> <p>- 2 балла: презентация не отражает содержание доклада; не имеет четкой структуры; оформление не аккуратное; оформление затрудняет восприятие информации; нет ссылок на источники информации.</p> <p>- 3 балла - нет ответа на вопрос</p> <p>- 2 балла: ответ не попадает в вопрос; ответ не по существу; ответ слишком затянутый (занимает всё отведенное на раунд вопросов время);</p> <p>Вопросы к докладчикам - 5 баллов за один вопрос по существу доклада. Вопрос может быть не засчитан, если не относится к теме доклада или апеллирует к личности докладчика.</p> <p>Раунд обсуждения продолжительностью не более 5 минут.</p> <p>Участие в обсуждении докладов - 5 баллов за одно высказанное развернутое мнение по содержанию вопроса.</p>		
6	3	Текущий контроль	Практическое занятие 1	1,667	60	<p>Максимальное количество баллов за полностью выполненное задание - 60</p> <p>Критерии оценивания результатов практического задания:</p> <p>0 баллов - задание не выполнено.</p> <p>Если задание выполнено, то от максимального количества баллов вычитаются штрафные баллы:</p> <p>- 20 баллов - не выполнена постобработка результатов топологической оптимизации</p> <p>- 40 баллов - не выполнена топологическая оптимизация и постобработка её результатов.</p> <p>- 2 балла за каждое отступление от заданной в задании геометрии в исходной 3D модели.</p> <p>- 2 балла за каждую отступление от исходных данных при постановке задачи</p>	зачет

						<p>топологической оптимизации.</p> <p>- 2 балла за некорректно заданные критерии топологической оптимизации</p> <p>- 2 балла за некорректно заданные ограничения при выполнении топологической оптимизации.</p>	
7	3	Текущий контроль	Практические занятия по курсу	1,667	60	<p>Максимальное количество баллов за полностью выполненное задание - 60</p> <p>Критерии оценивания результатов практического задания:</p> <p>0 баллов - задание не выполнено.</p> <p>Если задание выполнено, то от максимального количества баллов вычитаются штрафные баллы:</p> <p>- 20 баллов - не выполнена постобработка результатов топологической оптимизации</p> <p>- 40 баллов - не выполнена топологическая оптимизация и постобработка её результатов.</p> <p>- 2 балла за каждое отступление от заданной в задании геометрии в исходной 3D модели.</p> <p>- 2 балла за каждую отступление от исходных данных при постановке задачи топологической оптимизации.</p> <p>- 2 балла за некорректно заданные критерии топологической оптимизации</p> <p>- 2 балла за некорректно заданные ограничения при выполнении топологической оптимизации.</p>	зачет
8	3	Текущий контроль	Семестровое задание	1	100	<p>Максимальное количество баллов за работу 100 баллов выставляется, если твердотельная модель выполнена верно и полностью соответствует заданию, проведённые исследования прочностных и эксплуатационных параметров изделия соотносятся с реальной схемой нагружения конструкции и сопровождаются анализом результатов, предложенная оптимизированная конструкция имеет потенциальную возможность изготовления методами аддитивных технологий.</p> <p>Если хотя бы одно из вышеперечисленных требований не выполнено, студент получает «штрафные баллы».</p> <p>Штрафные баллы: отклонение формы или геометрии изделия от задания: -1 балл, размеры не выдержаны: -1 балл, материал выбран неверно или не указан:</p>	зачет

						<p>-1 балл, задание сдано не в срок: -1 балл, модель нельзя в дальнейшем использовать для производства методами аддитивных технологий: -2 балла, наложенные сопряжения поверхностей деталей ограничивают необходимую свободу движущихся элементов: -2 балла за каждую ошибку, размеры сопрягаемых поверхностей деталей не соответствуют друг другу: -5 баллов, процесс оптимизации конструкции вызывает вопросы: -5 баллов.</p> <p>Бонусные баллы: Сделаны предложения по оптимизации конструкции изделия или технологии производства: +3 балла за существенное или инновационное предложение, +2 балла за обоснованное предложение по оптимизации.</p>	
10	3	Промежуточная аттестация	Зачёт	1	100	<p>Зачет проводится в письменной форме. В билете содержится 2 теоретических вопроса и практическое задание. Время на подготовку ответа 120 минут. За ответ на каждый теоретический вопрос - максимум 20 баллов. За практическое задание - 60 баллов.</p> <p>Критерии оценивания ответов на теоретические вопросы:</p> <p>0 баллов - нет ответа на вопрос</p> <p>5 баллов - ответ на вопрос дан частично, имеются логические и фактические ошибки, ответ опирается только на материалы лекции, отсутствует критическая оценка данных, нет примеров.</p> <p>10 баллов - ответ на вопрос дан полностью, но есть логические или фактические ошибки, ответ опирается только на материалы лекции, имеется критическая оценка известным данным, приведены примеры.</p> <p>15 баллов - ответ на вопрос дан полностью, но есть незначительные неточности, ответ опирается только на русскоязычные источники информации, в том числе материалы лекции, даны ссылки на использованные источники информации, есть критическая оценка известных данных, приведены примеры.</p> <p>20 баллов - дан исчерпывающий ответ на вопрос, информация взята из нескольких источников, в том числе на иностранном</p>	зачет



					<p>языке, приведены ссылки на источники информации, проведена критическая оценка известных данных, приведены примеры.</p> <p>Критерии оценивания результатов практического задания:</p> <p>0 баллов - задание не выполнено.</p> <p>Если задание выполнено, то от максимального количества баллов вычитаются штрафные баллы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 20 баллов - не выполнена постобработка результатов топологической оптимизации</li> <li>- 40 баллов - не выполнена топологическая оптимизация и постобработка её результатов.</li> <li>- 2 балла за каждое отступление от заданной в задании геометрии в исходной 3D модели.</li> <li>- 2 балла за каждую отступление от исходных данных при постановке задачи топологической оптимизации.</li> <li>- 2 балла за некорректно заданные критерии топологической оптимизации</li> <li>- 2 балла за некорректно заданные ограничения при выполнении топологической оптимизации.</li> </ul>	
--	--	--	--	--	--	--

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	<p>Промежуточная аттестация по курсу проводится в третьем семестре в виде зачёта. К зачёту допускаются студенты, выполнившие необходимые текущие работы по курсу и получившие суммарную оценку свыше 60 баллов по итогам её выполнения. Зачёт проводится в виде решения задания, которое представляет собой практическую задачу по проектированию, исследованию и оптимизации изделия. Каждому студенту выдаётся билет, содержащий эскиз изделия и задание из трёх блоков вопросов. Необходимо спроектировать твердотельную модель изделия, провести его исследование на прочность и работы по оптимизации конструкции с целью снижения её массы или создания равнопрочной конструкции. На решение задачи отводится 120 минут. По итогам решения составляется отчёт, в котором отражаются результаты проведённой работы и осуществляется защита работы. Оценка "зачтено" выставляется, если твердотельная модель выполнена верно и соответствует заданию, проведённые исследования прочностных и эксплуатационных параметров изделия</p>	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

	соотносятся с реальной схемой нагружения конструкции, предложенный вариант оптимизации конструкции решает поставленные задачи, а студент в процессе защиты, отвечая на вопросы по проведённой работе, демонстрирует владение основными понятиями и вопросами курса и освоение компетенций, которые должны быть сформированы по итогам освоения дисциплины. Оценка "не зачтено" выставляется, если бы вышеперечисленные требования не выполнены. Оценка «зачтено» означает успешное освоение дисциплины. Оценка «не зачтено» означает неудовлетворительное освоение дисциплины.	
--	--	--

### 6.3. Оценочные материалы

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ									
		1	2	3	4	6	7	8	10		
ОПК-4	Знает: методы использования информации для подготовки и принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности	+	+	+					+	+	
ОПК-4	Умеет: самостоятельно искать, анализировать и отбирать необходимую информацию, организовывать, преобразовывать, сохранять и передавать ее	+	+	+	+				+	+	
ОПК-4	Имеет практический опыт: принятия решений по оптимизации элементов конструкций						+	+	+	+	

Фонды оценочных средств по каждому контрольному мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин [Текст] учеб. пособие для техн. специальностей вузов П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. - 6-е изд., испр. - М.: Высшая школа, 2000. - 446,[1] с. ил.
2. Орлов, П. И. Основы конструирования [Текст] Кн. 1 в 2 кн. П. И. Орлов ; под ред. П. Н. Учаева. - 3-е изд., испр. - М.: Машиностроение, 1988. - 559 с. ил.
3. Орлов, П. И. Основы конструирования Кн. 2 Под ред. П. Н. Учаева. - 3-е изд., испр. - М.: Машиностроение, 1988. - 542 с. ил.
4. Басов, К. А. ANSYS [Текст] справ. пользователя К. А. Басов. - 2-е изд., стер. - М.: ДМК-Пресс, 2012. - 639 с. ил.
5. Каплун, А. Б. Ansys в руках инженера [Текст] практ. рук. А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева ; предисл. А. С. Шадского. - Изд. стер. - М.: URSS : ЛИБРОКОМ, 2014. - 269 с. ил.

#### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

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

1. 1) Сборка в машиностроении, приборостроении ,науч.-техн. и произв. журн. ,Изд-во "Машиностроение"
2. 2) Computer Design ,науч.-техн. журн. Littleton, MA ,Penn Well ,1993-
3. 3) Computer Aided Design ,науч.-техн. журн. Guildford ,IPC science and technology press ,1989-
4. 4) Машиностроитель ,ежемес. науч.-техн. журн. ,ООО "Науч.-технич. предприятие "Витраж-Центр"; М. ,1936-
5. 5) Вестник Московского государственного технического университета. Серия: Машиностроение ,Науч.-теорет. и прикл. журн. широкого профиля ,Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана; М. ,Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана ,1991-
6. 6) Машиностроение и инженерное образование ,науч.-техн. журн.: 0+ ,Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова Рос. акад. наук, Моск. гос. индустр. ун-т; М. ,2008-
7. 7) Реферативный журнал. Машиностроительные материалы, конструкции и расчет деталей машин. Гидропривод. 48. ,отд. вып. ,Рос. акад. наук, Всерос. ин-т науч. и техн. информ. (ВИНИТИ); М. ,ВИНИТИ ,1964-

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Щуров, И. А. Твердотельное моделирование с использованием программы Solidworks учеб. метод. пособие И. А. Щуров ; Юж.-Урал. гос. ун-т; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2007. - 27, [2] с. ил.
2. Иванов В.А. Топологическая оптимизация элементов конструкций. Методические указания / В.А. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2021. - 35 с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Щуров, И. А. Твердотельное моделирование с использованием программы Solidworks учеб. метод. пособие И. А. Щуров ; Юж.-Урал. гос. ун-т; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2007. - 27, [2] с. ил.
2. Иванов В.А. Топологическая оптимизация элементов конструкций. Методические указания к освоению дисциплины / В.А. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2021. - 31 с.

## Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Гнездилов, С. Г. Моделирование оптимальной топологии деталей устройств : методические указания / С. Г. Гнездилов. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 52 с. — ISBN 978-5-7038-4821-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/103417">https://e.lanbook.com/book/103417</a> (дата

			обращения: 24.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Лесин, В.В. Основы методов оптимизации : учебное пособие / В.В. Лесин, Ю.П. Лисовец. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 344 с. — ISBN 978-5-8114-1217-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/86017">https://e.lanbook.com/book/86017</a> (дата обращения: 10.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Пояркова, Е.В. Механика материалов и основы конструирования : учебное пособие / Е.В. Пояркова, Л.С. Диньмухаметова. — 2-е изд. — Москва : ФЛИНТА, 2017. — 276 с. — ISBN 978-5-9765-3385-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/97104">https://e.lanbook.com/book/97104</a> (дата обращения: 10.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Рэдвуд, Б. 3D-печать. Практическое руководство : руководство / Б. Рэдвуд, Ф. Шофер, Б. Гаррэт ; перевод с английского М. А. Райтмана.. — Москва : ДМК Пресс, 2020. — 220 с. — ISBN 978-5-97060-738-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/140567">https://e.lanbook.com/book/140567</a> (дата обращения: 07.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Васильев, Б. Е. Численное моделирование задач динамики и прочности деталей газотурбинных установок и двигателей : учебное пособие / Б. Е. Васильев. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2018. — 174 с. — ISBN 978-5-7038-4954-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/172870">https://e.lanbook.com/book/172870</a> (дата обращения: 07.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6	Дополнительная литература	ScienceDirect	Martin Leary Design for Additive Manufacturing. 6 - Topology optimization for AM. - Elsevier, 2020. - pp.165-202, <a href="https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816721-2.00006-3">https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816721-2.00006-3</a> <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128167212000063">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128167212000063</a>
7	Дополнительная литература	ScienceDirect	Grégoire Allaire, Charles Dapogny, François Jouve, Chapter 1 - Shape and topology optimization // Handbook of Numerical Analysis. - Elsevier, 2021. - Volume 22, pp. 1-132. <a href="https://doi.org/10.1016/bs.hna.2020.10.004">https://doi.org/10.1016/bs.hna.2020.10.004</a> . <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570865920300181">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570865920300181</a>
8	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Должиков, В. П. Технологии наукоемких машиностроительных производств : учебное пособие / В. П. Должиков. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-2393-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/168969">https://e.lanbook.com/book/168969</a> (дата обращения: 08.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
9	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Гини, Э. Ч. Специальные технологии литья : учебное пособие / Э. Ч. Гини, А. М. Зарубин, В. А. Рыбкин. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2010. — 367 с. — ISBN 978-5-7038-3383-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/106438">https://e.lanbook.com/book/106438</a> (дата обращения: 08.10.2021).

			— Режим доступа: для авториз. пользователей.
1 0	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением : учебное пособие для вузов / Г. Г. Чернышов, Д. М. Шашин, В. И. Гирш [и др.] ; под редакцией Г. Г. Чернышова, Д. М. Шашина. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-6853-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/152649">https://e.lanbook.com/book/152649</a> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
1 1	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Лазерные аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров, Р. С. Третьяков ; под редакцией А. Г. Григорьянца. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2018. — 278 с. — ISBN 978-5-7038-4976-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/172807">https://e.lanbook.com/book/172807</a> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
1 2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Обработка металлов давлением : учебник / Б. А. Романцев, А. В. Гончарук, Н. М. Вавилкин, С. В. Самусев. — Москва : МИСИС, 2008. — 960 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/117037">https://e.lanbook.com/book/117037</a> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
1 3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Сосенушкин, Е. Н. Прогрессивные процессы объемной штамповки : монография / Е. Н. Сосенушкин. — Москва : Машиностроение, 2011. — 480 с. — ISBN 5-217-03346-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/3318">https://e.lanbook.com/book/3318</a> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Office(бессрочно)
2. Dassault Systèmes-SolidWorks Education Edition 500 CAMPUS(бессрочно)
3. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, Designer, PowerArtist, RedHawk)(бессрочно)
4. -Creo Academic(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. -Информационные ресурсы ФИПС(бессрочно)

#### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Контроль самостоятельной работы	339 (Л.к.)	Мультимедийный монитор, персональные компьютеры с установленным программным обеспечением,

Практические занятия и семинары	339 (Л.к.)	Мультимедийный монитор, персональные компьютеры с установленным программным обеспечением,
Лекции	337 (Л.к.)	Проектор, ПК с доступом к интернет, мультимедийный монитор
Зачет, диф.зачет	339 (Л.к.)	Мультимедийный монитор, персональные компьютеры с установленным программным обеспечением,

**Контрольные вопросы к разделам дисциплины**

**Раздел 1**

1. Основные подходы к разработке конструкции изделия. Цели и задачи процесса конструирования.
2. Основные факторы, определяющие конструктивный облик изделия. Основные направления совершенствования конструкций деталей и узлов промышленного оборудования.
3. Инженерные расчеты при определении конструктивного облика деталей и узлов промышленного оборудования. Основные расчетные зависимости.
4. Перечислите основные технологии изготовления деталей и узлов промышленного оборудования. Укажите ключевые особенности конструкций деталей и узлов схожего функционального назначения, изготовленных различными способами.
5. Цели и задачи оптимизации конструкции изделий, критерии оптимизации.

**Раздел 2**

1. Топологическая оптимизация. Предметная область. Цели и задачи.
2. Перечислите основные методы и проведите их сравнительную оценку.
3. Методы ESO/BESO: математическая формулировка, особенности реализации, ограничения.
4. Методы Level-Set: математическая формулировка, особенности реализации, ограничения.
5. Методы SIMP: математическая формулировка, особенности реализации, ограничения.

**Раздел 3**

1. Основные программные решения для топологической оптимизации элементов конструкций. Сравнительная оценка.
2. Порядок подготовки исходной модели. Требования к исходной модели.
3. Постановка задачи топологической оптимизации. Основные этапы.
4. Постобработка результатов топологической оптимизации. Цели и задачи.
5. Примеры решения задач топологической оптимизации (исходная формулировка, методы, программные продукты, уровень результата).

Темы докладов на семинар: «Конструктивный облик изделий: влияние технологий»

1. Субстративные технологии. Обработка резанием. Токарное точение. Требования к конструкции деталей.
2. Субстративные технологии. Обработка резанием. Фрезерование. Требования к конструкции деталей.
3. Субстративные технологии. Обработка резанием. Обработка осевым инструментом. Требования к конструкции деталей.
4. Субстративные технологии. Обработка резанием. Шлифование. Требования к конструкции деталей.
5. Традиционные формоизменяющие технологии. Фасонное литье. Требования к конструкции отливок.
6. Традиционные формоизменяющие технологии. Центробежное литье. Требования к конструкции отливок.
7. Традиционные формоизменяющие технологии. Точное литье по газифицируемым моделям. Требования к конструкции отливок.
8. Традиционные формоизменяющие технологии. Литье в кокиль. Требования к конструкции отливок.
9. Традиционные формоизменяющие технологии. Литье под давлением. Требования к конструкции отливок.
10. Традиционные формоизменяющие технологии. Полимерные материалы Литье под давлением. Требования к конструкции изделий.
11. Традиционные формоизменяющие технологии. Обработка давлением. Длинномерные изделия. Требования к конструкции изделий.
12. Традиционные формоизменяющие технологии. Обработка давлением. Объемная ковка и штамповка. Требования к конструкции изделий.
13. Традиционные формоизменяющие технологии. Обработка давлением. Листовая штамповка. Требования к конструкции изделий.
14. Традиционные формоизменяющие технологии. Обработка давлением. Инкрементное формование. Требования к конструкции изделий.
15. Протоаддитивные технологии. Порошковые технологии. Требования к конструкции изделий.
16. Протоаддитивные технологии. Полимерные материалы. Прямое прессование. Требования к конструкции изделий.
17. Протоаддитивные технологии. Нанесение покрытий. Требования к конструкции изделий.
18. Протоаддитивные технологии. Дуговая сварка. Требования к конструкции изделий.
19. Протоаддитивные технологии. Электронно-лучевая сварка. Требования к конструкции изделий.
20. Протоаддитивные технологии. Лазерная сварка. Требования к конструкции изделий.
21. Протоаддитивные технологии. Диффузионная сварка. Требования к конструкции изделий.
22. Протоаддитивные технологии. Сварка трением. Требования к конструкции изделий.
23. Протоаддитивные технологии. Сварка перемешиванием. Требования к конструкции изделий.
24. Протоаддитивные технологии. Лазерная сварка. Требования к конструкции изделий.
25. Протоаддитивные технологии. Пайка. Требования к конструкции изделий.
26. Протоаддитивные технологии. Технологии сборки. Требования к конструкции изделий.
27. Аддитивные технологии. Полимерные материалы. FDM (FFF). Требования к конструкции изделий.
28. Аддитивные технологии. Полимерные материалы. SLA. Требования к конструкции изделий.
29. Аддитивные технологии. Полимерные материалы. Послойное нанесение с отверждением жидких фотополимеров (Material Jetting). Требования к конструкции изделий.
30. Аддитивные технологии. Полимерные материалы. Нанесение связующего с отверждением (Binder Jetting). Требования к конструкции изделий.
31. Аддитивные технологии. Металлические материалы. Селективное лазерное сплавление (SLS, SLM). Требования к конструкции изделий.



32. Аддитивные технологии. Металлические материалы Прямое нанесение металла (DMD). Требования к конструкции изделий.
33. Аддитивные технологии. Селективное лазерное сплавление. Требования к конструкции изделий.

# Практическое задание 1

Топологическая оптимизация детали типа кронштейн

## Задание

1. Создать параметризованную твердотельную модель в ПО SolidWorks по эскизу и размерам в соответствии со своим вариантом.
2. Используя схему нагружения провести топологическую оптимизацию с использованием инструментов анализа Simulation ( $R_{1,2,3,4}=0.25F$ ). В качестве критерия оптимизации принять: уменьшение массы на 30%.
3. Провести постобработку полученных результатов

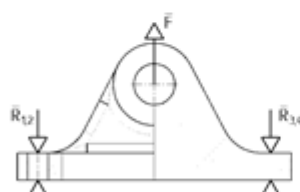
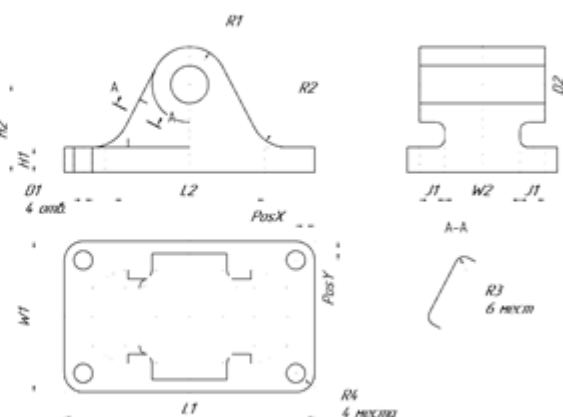


Схема нагружения



## Задание. Варианты

№№	Материал	Размеры, мм																Г, Н
		L1	W1	H1	D1	RxxX	RxxY	H2	L2	W2	R1	D2	J1	R2	R3	R4		
1	AISI 1045	200	120	20	15	15	15	70	120	60	30	30	20	15	5	10	2000	
2	Легированная сталь	250	150	25	19	25	25	85	120	65	35	30	25	20	5	15	3000	
3	AISI 316L	300	200	30	18,5	20	20	100	150	70	40	40	30	25	7	20	4000	
4	AISI 1020	200	150	10	10,5	15	15	70	100	30	35	30	35	30	9	25	5000	
5	AISI 1030	250	120	15	15	15	15	80	90	40	45	20	40	35	5	10	6000	
6	AISI 1045	300	120	20	17	25	25	70	135	80	20	10	45	40	5	15	2000	
7	Легированная сталь	200	150	25	21	25	25	85	120	50	30	20	20	15	7	20	3000	
8	AISI 316L	250	200	30	11	12	12	100	120	60	35	35	25	20	9	25	4000	
9	AISI 1020	300	150	10	15	15	15	70	150	65	40	15	30	25	5	10	5000	
10	AISI 1030	200	120	15	19	25	25	80	100	70	35	18	35	30	5	15	6000	
11	AISI 1045	250	120	20	18,5	20	20	70	90	30	45	30	40	35	7	20	2000	
12	Легированная сталь	300	150	25	10,5	15	15	85	135	40	20	30	45	40	9	25	3000	
13	AISI 316L	200	200	30	13	15	15	100	120	80	30	40	20	15	5	10	4000	
14	AISI 1020	250	150	10	17	25	25	70	120	50	35	30	25	20	5	15	5000	
15	AISI 1030	300	120	15	21	25	25	80	150	60	40	20	30	25	7	20	6000	
16	AISI 1045	200	120	20	11	12	12	70	100	65	35	10	35	30	9	25	2000	
17	Легированная сталь	250	150	25	15	15	15	85	90	70	45	20	40	35	5	10	3000	
18	AISI 316L	300	200	30	19	25	25	100	135	30	20	35	45	40	5	15	4000	
19	AISI 1020	200	150	10	18,5	20	20	70	120	40	30	15	20	15	7	20	5000	
20	AISI 1030	250	120	15	10,5	15	15	80	120	80	35	18	25	20	9	25	6000	
21	AISI 1045	300	120	20	13	15	15	70	150	50	40	30	30	25	5	10	2000	
22	Легированная сталь	200	150	25	17	25	25	85	100	60	35	30	35	30	5	15	3000	
23	AISI 316L	250	200	30	21	25	25	100	90	65	45	40	40	35	7	20	4000	
24	AISI 1020	300	150	10	11	12	12	70	135	70	20	30	45	40	9	25	5000	
25	AISI 1030	200	120	15	15	15	15	80	120	30	30	20	15	5	10	6000		
26	AISI 1045	250	120	20	19	25	25	70	120	40	35	10	25	20	5	15	2000	
27	Легированная сталь	300	150	25	18,5	20	20	85	150	80	40	20	30	25	7	20	3000	
28	AISI 316L	200	200	30	10,5	15	15	100	100	50	35	35	35	30	9	25	4000	
29	AISI 1020	250	150	10	13	15	15	70	90	60	45	15	40	35	5	10	5000	
30	AISI 1030	300	120	15	17	25	25	80	135	60	20	18	45	40	5	15	6000	

## Практическое задание 2

Топологическая оптимизация детали типа сосуд

## Задание

1. Создать параметризованную твердотельную модель в ПО SolidWorks по эскизу и размерам в соответствии со своим вариантом.
2. Используя схему нагружения провести топологическую оптимизацию с использованием инструментов анализа Simulation
3. Провести постобработку полученных результатов

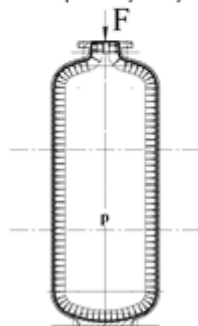
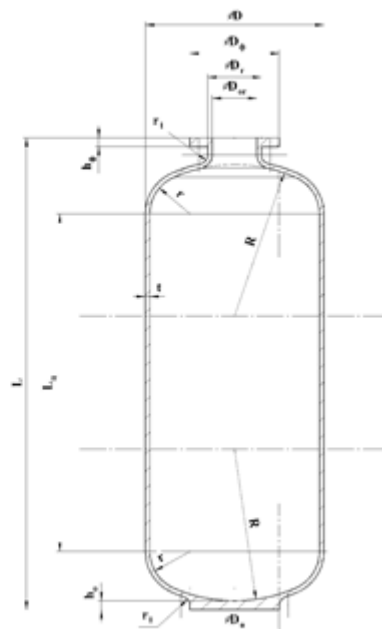


Схема нагружения



## Задание. Варианты

Вариант	Материал	D, мм	L, мм	L <sub>i</sub> , мм	t, мм	r <sub>1</sub> , мм	r <sub>2</sub> , мм	D <sub>i</sub> , мм	t <sub>1</sub> , мм	D <sub>1</sub> , мм	t <sub>2</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	t <sub>3</sub> , мм	r <sub>3</sub> , мм	F, Н	p, МПа	Среднее значение, %	Увеличение пористости, град (по Девелу)
1	А9 1010	600	1000	500	30	0.050	0.80	830	1.31	800	80	DaH1	100	30	30000	80	3	1.2
2	А9 816L	300	1100	600	30	0.100	1.00	800	1.01	100	30	DaH1	130	10	10000	10	10	1.1
3	А9 1010	800	1300	700	30	0.130	1.30	100	1.81	830	10	DaH1	300	10	10000	3	13	1.8
4	А9 1010	700	1800	800	30	0.10	1.10	100	1.031	100	30	DaH1	300	33	30000	30	30	1.6
5	А9 816L	600	1600	900	30	0.100	1.00	330	1.11	830	10	DaH1	100	13	3000	13	7	1.13
6	А9 1010	300	1300	1000	30	0.130	1.80	830	1.41	800	80	DaH1	130	30	10000	10	8	1.1
7	А9 1010	800	1600	1100	30	0.300	3.00	800	1.31	830	10	DaH1	130	10	10000	3	30	1.0
8	А9 816L	700	1700	1300	30	0.050	1.10	100	1.31	800	80	DaH1	300	10	30000	80	33	1.0
9	А9 1010	600	1800	1800	30	0.130	0.80	100	1.01	100	30	DaH1	100	33	3000	10	80	1.03
10	А9 1010	300	1800	1600	30	0.300	1.00	330	1.81	800	80	DaH1	100	13	10000	3	13	1.6
11	А9 816L	800	1000	500	30	0.050	1.10	830	1.031	100	30	DaH1	130	30	13000	30	11	1.0
12	А9 1010	700	1100	600	30	0.100	1.10	800	1.11	830	10	DaH1	300	10	30000	13	3	1.1
13	А9 1010	600	1300	700	30	0.300	1.80	100	1.41	100	30	DaH1	300	10	3000	10	10	1.8
14	А9 816L	300	1800	800	30	0.050	1.80	100	1.31	830	10	DaH1	100	33	10000	8	13	1.6
15	А9 1010	800	1600	900	30	0.100	3.00	330	1.31	800	80	DaH1	130	13	13000	80	30	1.13
16	А9 1010	700	1300	1000	30	0.130	3.10	830	1.01	830	10	DaH1	130	30	30000	10	7	1.1
17	А9 816L	600	1000	1100	30	0.050	0.80	800	1.81	800	80	DaH1	300	10	3000	3	8	1.0
18	А9 1010	300	1700	1300	30	0.100	1.00	100	1.031	100	30	DaH1	100	10	10000	30	30	1.0
19	А9 1010	800	1800	1800	30	0.130	1.10	100	1.11	800	80	DaH1	100	33	13000	13	33	1.03
20	А9 816L	700	1900	1600	30	0.10	1.10	330	1.41	100	30	DaH1	130	13	30000	10	80	1.6
21	А9 1010	600	1000	500	30	0.100	1.80	830	1.31	830	10	DaH1	300	30	3000	8	13	1.0
22	А9 1010	300	1100	600	30	0.130	1.80	800	1.31	100	30	DaH1	300	10	10000	80	11	1.1
23	А9 816L	800	1300	700	30	0.300	3.00	100	1.81	830	10	DaH1	100	10	13000	10	3	1.8
24	А9 1010	700	1800	800	30	0.050	3.10	100	1.81	800	80	DaH1	130	33	30000	3	10	1.6
25	А9 1010	600	1600	900	30	0.130	0.80	330	1.031	830	10	DaH1	130	13	3000	30	13	1.13
26	А9 816L	300	1300	1000	30	0.300	1.00	830	1.11	800	80	DaH1	300	30	10000	13	30	1.1
27	А9 1010	800	1000	1100	30	0.050	1.10	800	1.41	100	30	DaH1	100	10	10000	10	7	1.0
28	А9 1010	700	1700	1300	30	0.100	1.10	100	1.31	800	80	DaH1	100	10	30000	8	8	1.0
29	А9 816L	600	1800	1800	30	0.300	1.80	100	1.31	100	30	DaH1	130	33	3000	80	30	1.03
30	А9 1010	300	1900	1600	30	0.050	1.80	330	1.01	830	10	DaH1	300	13	10000	10	33	1.6

**Семестровое задание**

1. В рамках магистерской ВКР выбрать узел или деталь по согласованию с дипломным руководителем.
2. Провести анализ условий эксплуатации узла, типичные проблемы и определить пути совершенствования конструкции выбранного изделия.
3. Создать 3D модель узла. Провести общее улучшение конструкции исходя из практических соображений.
4. Выбрать наиболее нагруженную деталь и провести её топологическую оптимизацию.
5. Провести постобработку результатов топологической оптимизации.
6. Предложить варианты технологии изготовления оптимизированной детали.

Объем пояснительной записки не более 20 листов.

## Вопросы к зачету (теоретическая часть)

1. Основные подходы к разработке конструкции изделия. Цели и задачи процесса конструирования.
2. Основные факторы, определяющие конструктивный облик изделия. Основные направления совершенствования конструкций деталей и узлов промышленного оборудования.
3. Инженерные расчеты при определении конструктивного облика деталей и узлов промышленного оборудования. Основные расчетные зависимости.
4. Перечислите основные технологии изготовления деталей и узлов промышленного оборудования. Укажите ключевые особенности конструкций деталей и узлов схожего функционального назначения, изготовленных различными способами.
5. Субтрактивные технологии. Обработка резанием. Ограничения на конструкцию изделий.
6. Традиционные формоизменяющие технологии: литье, обработка давлением. Ограничения на конструкцию изделий.
7. Аддитивные технологии. Ограничения на конструкцию изделий.
8. Цели и задачи оптимизации конструкции изделий, критерии оптимизации.
9. Топологическая оптимизация. Предметная область. Цели и задачи.
10. Перечислите основные методы и проведите их сравнительную оценку.
11. Методы ESO/BESO: математическая формулировка, особенности реализации, ограничения.
12. Методы Level-Set: математическая формулировка, особенности реализации, ограничения.
13. Методы SIMP: математическая формулировка, особенности реализации, ограничения.
14. Основные программные решения для топологической оптимизации элементов конструкций. Сравнительная оценка.
15. Порядок подготовки исходной модели. Требования к исходной модели.
16. Постановка задачи топологической оптимизации. Основные этапы.
17. Постобработка результатов топологической оптимизации. Цели и задачи.
18. Примеры решения задач топологической оптимизации (исходная формулировка, методы, программные продукты, уровень результата).

## Практическое задание к зачету

## Задание

1. Создать параметризованную твердотельную модель в ПО SolidWorks по эскизу и размерам в соответствии со своим вариантом.
2. Используя схему нагружения провести топологическую оптимизацию с использованием инструментов анализа Simulation
3. Провести постобработку полученных результатов

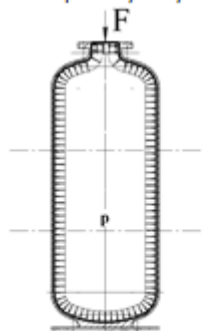
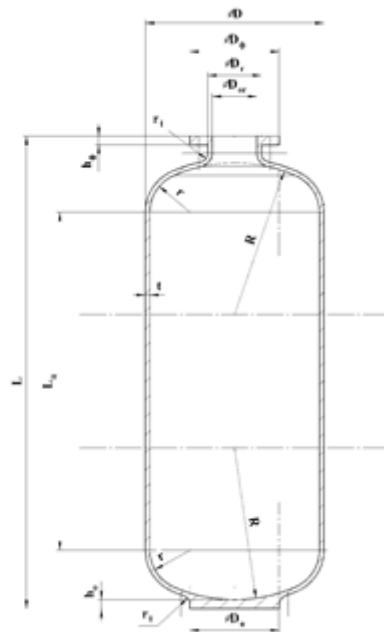


Схема нагружения



# Задание. Варианты

Вариант	Материал	$Q_0, \text{мм}$	$L_0, \text{мм}$	$S_0$	$L_1, \text{мм}$	$r_1, \text{мм}$	$R_1, \text{мм}$	$Q_2, \text{мм}$	$L_2, \text{мм}$	$R_2, \text{мм}$	$Q_3, \text{мм}$	$L_3, \text{мм}$	$R_3, \text{мм}$	$Q_4, \text{мм}$	$L_4, \text{мм}$	$R_4, \text{мм}$	$r_4, \text{мм}$	$p, \text{МПа}$	Среднее значение, %
1	АВ 1010	100	1000	300	30	0.010	0.80	810	1.21	800	80	DevM1	100	10	10000	80	10		10
2	АВ 110L	300	1100	800	30	0.100	1.00	800	1.01	600	10	DevM1	110	10	10000	10	10		10
3	АВ 1013	800	1100	700	80	0.130	1.10	600	1.81	810	60	DevM1	200	60	10000	3	80		10
4	АВ 1010	700	1800	800	80	0.10	1.10	600	1.01	600	10	DevM1	200	10	10000	10	10		10
5	АВ 110L	600	1000	900	60	0.100	1.00	110	1.11	810	60	DevM1	100	10	10000	10	10		10
6	АВ 1013	300	1100	1000	60	0.130	1.80	810	1.61	800	80	DevM1	110	10	10000	60	10		10
7	АВ 1010	800	1000	1100	10	0.100	1.00	800	1.10	810	60	DevM1	110	10	10000	8	10		10
8	АВ 110L	700	1700	1100	10	0.030	1.10	600	1.11	800	80	DevM1	200	60	10000	80	10		10
9	АВ 1013	600	1800	1800	60	0.130	0.80	600	1.01	600	10	DevM1	100	10	10000	10	80		10
10	АВ 1010	300	1800	1000	80	0.100	1.00	110	1.81	800	80	DevM1	100	10	10000	3	10		10
11	АВ 110L	800	1000	100	60	0.030	1.10	810	1.01	600	10	DevM1	110	10	10000	10	10		10
12	АВ 1013	700	1100	800	60	0.100	1.10	800	1.11	810	60	DevM1	200	10	10000	10	10		10
13	АВ 1010	600	1100	700	10	0.100	1.00	600	1.61	600	10	DevM1	200	60	10000	60	10		10
14	АВ 110L	200	1800	800	10	0.030	1.80	600	1.11	810	60	DevM1	100	10	10000	8	10		10
15	АВ 1013	800	1000	900	80	0.100	1.00	110	1.11	800	80	DevM1	110	10	10000	80	80		10
16	АВ 1010	700	1100	1000	80	0.110	1.10	810	1.01	810	60	DevM1	110	10	10000	10	10		10
17	АВ 110L	600	1000	1100	60	0.030	0.80	800	1.81	800	80	DevM1	200	10	10000	3	10		10
18	АВ 1013	300	1700	1100	60	0.100	1.00	600	1.01	600	10	DevM1	100	60	10000	10	10		10
19	АВ 1010	800	1800	1800	10	0.130	1.10	600	1.11	800	80	DevM1	100	10	10000	10	10		10
20	АВ 110L	700	1800	1000	10	0.10	1.10	110	1.61	600	10	DevM1	110	10	10000	10	10		10
21	АВ 1013	600	1000	100	80	0.100	1.00	810	1.10	810	60	DevM1	200	10	10000	8	80		10
22	АВ 1010	300	1100	800	80	0.130	1.80	800	1.11	600	10	DevM1	200	10	10000	80	10		10
23	АВ 110L	800	1100	700	60	0.100	1.00	600	1.01	810	60	DevM1	100	60	10000	10	10		10
24	АВ 1013	700	1800	800	60	0.030	1.10	600	1.81	800	80	DevM1	110	10	10000	3	10		10
25	АВ 1010	600	1000	900	10	0.130	0.80	110	1.01	810	60	DevM1	110	10	10000	10	10		10
26	АВ 110L	300	1100	1000	10	0.100	1.00	810	1.11	800	80	DevM1	200	10	10000	10	10		10
27	АВ 1013	800	1000	1100	80	0.030	1.10	800	1.61	600	10	DevM1	100	10	10000	60	80		10
28	АВ 1010	700	1700	1100	80	0.100	1.10	600	1.11	800	80	DevM1	100	60	10000	8	10		10
29	АВ 110L	600	1800	1800	60	0.100	1.00	600	1.11	600	10	DevM1	110	10	10000	80	10		10
30	АВ 1013	300	1800	1000	60	0.030	1.80	110	1.01	810	60	DevM1	200	10	10000	10	10		10