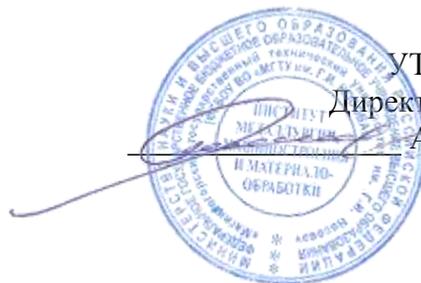




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММиМ  
А.С. Савинов

15.02.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ***

Направление подготовки (специальность)  
22.04.02 Металлургия

Направленность (профиль/специализация) программы  
Искусственный интеллект в металлургии

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения  
очная

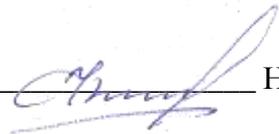
Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалообработки
Кафедра	Литейных процессов и материаловедения
Курс	2
Семестр	3

Магнитогорск  
2022 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия (приказ Минобрнауки России от 24.04.2018 г. № 308)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

21.01.2022, протокол № 6

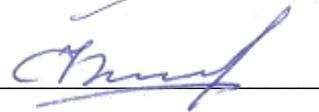
Зав. кафедрой  Н.А. Феоктистов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ

15.02.2022 г. протокол № 6

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:

зав. кафедрой ЛПИМ, канд. техн. наук  Н.А. Феоктистов

Рецензент:

зав. кафедрой ПЭиБЖД, канд. техн. наук  А.Ю. Перятинский

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Н.А. Феоктистов

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Н.А. Феоктистов

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

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.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Топологическая оптимизация элементов конструкций входит в часть учебного плана, формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:  
нет

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Топологическая оптимизация элементов конструкций» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК-4.1	Знает: как производить поиск, анализ и синтез информации для разработки и принятия решений при проведении научных исследований и осуществления профессиональной деятельности в области металлургии и металлообработки; методы использования информации для подготовки и принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК-4.2	Умеет: использовать профессиональные знания для сравнения, классификации и преобразования информации, необходимой для совершенствования основных и вспомогательных операций технологических процессов производства металлопродукции широкого назначения; самостоятельно искать, анализировать и отбирать необходимую информацию, организовывать, преобразовывать, сохранять и передавать ее
ОПК-4.3	Имеет практический опыт: применять существующие методологические подходы для структурирования, систематизации, хранения и передачи информации, требуемой для решения широкого спектра задач в практической деятельности; принятия решений по оптимизации элементов конструкций

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц 72 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 36 акад. часов;
- аудиторная – 36 акад. часов;
- внеаудиторная – 0 акад. часов;
- самостоятельная работа – 36 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Конструктивный облик изделия: влияющие факторы, критерии оптимизации								
1.1 Общие принципы конструирования промышленного оборудования и основные факторы определяющие конструктивный облик изделия. Критерии оптимизации элементов конструкций	3	2					ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3	
1.2 Основные расчеты кинематики и динамики механизмов, расчеты на прочность, долговечность (износ, усталостные разрушения), тепловые расчеты		2					ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3	
1.3 Субтрактивные, традиционные формообразующие и аддитивные технологии и их влияние на конструктивный облик изделия		2					ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3	
1.4 Семинар "Конструктивный облик изделий: влияние технологии"				4	10	Основная литература 1-5. Дополнительная литература 1-5	Контрольные вопросы к разделу 1	ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
Итого по разделу		6		4	10			
2. Методы топологической оптимизации: основные принципы, область применения, ограничения								

2.1 Топологическая оптимизация: терминология, основные концепции, основные методы (Level-Set, ESO/BESO, SIMP). Методы ESO/BESO, особенности реализации, ограничения	3	4						ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
2.2 Топологическая оптимизация: методы Level-Set, особенности реализации, ограничения		2						ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
2.3 Топологическая оптимизация: методы SIMP, особенности реализации, ограничения		2						ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
2.4 Топологическая оптимизация: сравнительная характеристика основных методов				2		Основная литература 1-3. Дополнительная литература 1-5	Контрольные вопросы к разделу 2	ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
Итого по разделу		8		2				
3. Основные программные решения для топологической оптимизации элементов конструкций								
3.1 Обзор основных программных продуктов для топологической оптимизации элементов конструкций. Примеры типовых задач топологической оптимизации	3	2						ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
3.2 Топологическая оптимизация детали типа тонкостенный сосуд нагруженный внутренним давлением и осевой силой: подготовка геометрии, постановка задачи топологической оптимизации, постобработка результатов.				6				ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
3.3 Порядок подготовки исходных моделей, постановки и решения задач топологической оптимизации, финальной обработки результатов топологической оптимизации		2						ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
3.4 Топологическая оптимизация нагруженной детали типа кронштейн: подготовка геометрии, постановка задачи топологической оптимизации, постобработка				6		Основная литература 1-5. Дополнительная литература 1-6	Контрольные вопросы к разделу 3	ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3

3.5 Семестровое задание. Проектирование и оптимизация конструкции				16	Основная литература 1-5. Дополнительная литература 1-11		ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
3.6 Промежуточная аттестация					Основная литература 1-5. Дополнительная литература 1-11	Зачет	ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3
Итого по разделу	4		12	26			
Итого за семестр	18		18	26		зачёт	
Итого по дисциплине	18		18	36		зачет	

## **5 Образовательные технологии**

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Технология литейного производства» используются традиционная и информационно-коммуникативная образовательные технологии.

Лекции проходят в традиционной форме:

- информационная лекция;
- лекция консультация;
- проблемная лекция.

Теоретический материал на проблемных лекциях является результатом усвоения полученной информации посредством постановки проблемного вопроса и поиска путей его решения. На лекциях – консультациях изложение нового материала сопровождается постановкой вопросов и дискуссией в поисках ответов на эти вопросы.

Также при использовании традиционной образовательной технологии проводятся лабораторные работы, при проведении которых используются работа в команде и обсуждение полученных результатов.

Из информационно-коммуникативной образовательной технологии применяется «лекция-визуализация», при которой представленный обучающимся теоретический материал визуализируется посредством видеоматериалов, презентаций, наглядных физических пособий.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется при непосредственной подготовке к лабораторным работам, рейтинг-контролю, устному опросу, а также при выполнении курсового проекта и подготовке к итоговым аттестациям.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **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.

6. 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: <https://e.lanbook.com/book/103417> (дата обращения: 24.07.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. 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: <https://e.lanbook.com/book/86017> (дата обращения: 10.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**б) Дополнительная литература:**

1. 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: <https://e.lanbook.com/book/97104> (дата обращения: 10.12.2019). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. 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: <https://e.lanbook.com/book/140567> (дата обращения: 07.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Васильев, Б. Е. Численное моделирование задач динамики и прочности деталей газотурбинных установок и двигателей : учебное пособие / Б. Е. Васильев. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2018. — 174с. — ISBN 978-5-7038-4954-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172870> (дата обращения: 07.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Васильев, Б. Е. Численное моделирование задач динамики и прочности деталей газотурбинных установок и двигателей : учебное пособие / Б. Е. Васильев. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2018. — 174с. — ISBN 978-5-7038-4954-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172870> (дата обращения: 07.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Martin Leary Design for Additive Manufacturing. 6 - Topology optimization for AM. - Elsevier, 2020. - pp.165-202, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816721-2.00006-3>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128167212000063>.

6. Grégoire Allaire, Charles Dapogny, François Jouve, Chapter 1 - Shape and topology optimization // Handbook of Numerical Analysis. - Elsevier, 2021. - Volume 22, pp. 1-132.  
<https://doi.org/10.1016/bs.hna.2020.10.004>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570865920300181>.

7. 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: <https://e.lanbook.com/book/168969> (дата обращения: 08.10.2021). — Режим доступа: для авториз. Пользователей.

8. 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: <https://e.lanbook.com/book/106438> (дата обращения: 08.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. 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: <https://e.lanbook.com/book/152649> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

10. 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: <https://e.lanbook.com/book/172807> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

11. 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: <https://e.lanbook.com/book/117037> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

12. 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: <https://e.lanbook.com/book/3318> (дата обращения: 10.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**в) Методические указания:**

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно	бессрочно
Браузер Mozilla Firefox	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Yandex	свободно	бессрочно
FAR Manager	свободно	бессрочно

**Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services,	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru">https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru</a>

## **9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий:

- Лекции. Проектор, ПК с доступом к интернет, мультимедийный монитор;
- Практические занятия и семинары. Мультимедийный монитор, персональные компьютеры с установленным программным обеспечением;
- Контрольные самостоятельные работы. Мультимедийный монитор, персональные компьютеры с установленным программным обеспечением;
- Зачет, диф. зачет. Мультимедийный монитор, персональные компьютеры с установленным программным обеспечением.

### 6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Для успешного освоения дисциплины студентам рекомендуется:

- ознакомиться с графиком учебного процесса по дисциплине (календарный план аудиторных занятий и план-график самостоятельной работы);
- активно использовать указанные в программе электронные учебные и методические пособия, разработанные на кафедре, ресурсы электронной библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова и других университетов, ресурсы Интернет;
- вырабатывать и совершенствовать умение конспектировать, систематизировать, обобщать изученный материал, выделять сложные вопросы, требующие дополнительной подготовки, составлять предварительный план самостоятельной работы. В случае затруднения в понимании отдельных вопросов необходимо обратиться за консультацией к ведущему преподавателю;
- при подготовке к практическим занятиям внимательно изучать теоретический материал и не пропускать лекционные занятия;
- при подготовке к лекционным занятиям рекомендуется просматривать материал предыдущих лекций и не пропускать лекционные занятия;
- при изучении методики расчетов целесообразно рассматривать примеры расчетов, приведенных в лекциях и литературе. В случае пропуска занятий не затягивать выполнение запланированных контрольных мероприятий по дисциплине, при необходимости отрабатывать учебный материал в указанное преподавателем время

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ОПК-4 Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности</b>		
<b>ОПК-4.1</b>	<p>Знает: как производить поиск, анализ и синтез информации для разработки и принятия решений при проведении научных исследований и осуществления профессиональной деятельности в области металлургии и металлообработки; методы использования информации для подготовки и принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности</p>	<p><b>Теоретические вопросы к зачету:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные подходы к разработке конструкции изделия. Цели и задачи процесса конструирования.</li> <li>2. Основные факторы, определяющие конструктивный облик изделия. Основные направления совершенствования конструкций деталей и узлов промышленного оборудования.</li> <li>3. Инженерные расчеты при определении конструктивного облика деталей и узлов промышленного оборудования. Основные расчетные зависимости.</li> <li>4. Перечислите основные технологии изготовления деталей и узлов промышленного оборудования. Укажите ключевые особенности конструкций деталей и узлов схожего функционального назначения, изготовленных различными способами.</li> <li>5. Цели и задачи оптимизации конструкции изделий, критерии оптимизации.</li> <li>6. Топологическая оптимизация. Предметная область. Цели и задачи.</li> <li>7. Перечислите основные методы и проведите их сравнительную оценку.</li> <li>8. Методы ESO/BESO: математическая формулировка, особенности реализации, ограничения.</li> </ol>
<b>ОПК-4.2</b>	<p>Умеет: использовать профессиональные знания для сравнения, классификации и преобразования информации,</p>	<p><b>Перечень примерных практических заданий:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. В рамках магистерской ВКР выбрать узел или деталь по</li> </ol>

	<p>необходимой для совершенствования основных и вспомогательных операций технологических процессов производства металлопродукции широкого назначения; самостоятельно искать, анализировать и отбирать необходимую информацию, организовывать, преобразовывать, сохранять и передавать ее</p>	<p>согласованию с дипломным руководителем.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Провести анализ условий эксплуатации узла, типичные проблемы и определить пути совершенствования конструкции выбранного изделия.</li> <li>3. Создать 3D модель узла. Провести общее улучшение конструкции исходя из практических соображений.</li> <li>4. Выбрать наиболее нагруженную деталь и провести её топологическую оптимизацию.</li> <li>5. Провести постобработку результатов топологической оптимизации.</li> <li>6. Предложить варианты технологии изготовления оптимизированной детали.</li> </ol>
<p><b>ОПК-4.3</b></p>	<p>Имеет практический опыт: применять существующие методологические подходы для структурирования, систематизации, хранения и передачи информации, требуемой для решения широкого спектра задач в практической деятельности; принятия решений по оптимизации элементов конструкций</p>	<p><b>Теоретические вопросы к зачету:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные программные решения для топологической оптимизации элементов конструкций. Сравнительная оценка.</li> <li>2. Порядок подготовки исходной модели. Требования к исходной модели.</li> <li>3. Постановка задачи топологической оптимизации. Основные этапы.</li> <li>4. Постобработка результатов топологической оптимизации. Цели и задачи.</li> <li>5. Примеры решения задач топологической оптимизации (исходная формулировка, методы, программные продукты, уровень результата).</li> <li>6. Методы Level-Set: математическая формулировка, особенности реализации, ограничения.</li> <li>7. Методы SIMP: математическая формулировка, особенности реализации, ограничения.</li> </ol>

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

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

Контрольные вопросы к разделу 1. 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.

Контрольные вопросы к разделу 2. 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.

Контрольные вопросы к разделу 3. 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.

Семинар: Конструктивный облик изделия: влияние технологий. Выступление с докладом на семинаре - максимум 40 баллов. Вопросы к докладчикам - максимум 30 баллов. Участие в дискуссии - максимум 30 баллов.

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.

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 конструкции деталей или узлов, получаемых по рассматриваемой технологии.

- 1 балл превышено время доклада на 1-2 минуты.

- 2 балла превышено время доклада на 2-3 минуты.

- 5 баллов превышено время доклада на более чем 3 минуты.

- 5 баллов отсутствует презентация

- 2 балла: презентация не отражает содержание доклада; не имеет четкой структуры; оформление не аккуратное;

оформление затрудняет восприятие информации; нет ссылок на источники информации.

- 3 балла - нет ответа на вопрос

- 2 балла: ответ не попадает в вопрос; ответ не по существу; ответ слишком затянутый (занимает всё отведенное на раунд вопросов время).

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.

Раунд обсуждения продолжительностью не более 5 минут. Участие в обсуждении докладов - 5 баллов за одно высказанное развернутое мнение по содержанию вопроса.

Практическое занятие 1. Максимальное количество баллов за полностью выполненное задание – 60.

Критерии оценивания результатов практического задания:

0 баллов - задание не выполнено.

Если задание выполнено, то от максимального количества баллов вычитаются штрафные баллы:

- 20 баллов - не выполнена постобработка результатов топологической оптимизации

- 40 баллов - не выполнена топологическая оптимизация и постобработка её результатов.

- 2 балла за каждое отступление от заданной в задании геометрии в исходной 3D модели.

- 2 балла за каждую отступление от исходных данных при постановке задачи топологической оптимизации.

- 2 балла за некорректно заданные критерии топологической оптимизации

- 2 балла за некорректно заданные ограничения при выполнении топологической оптимизации.

Практические занятия по курсу. Максимальное количество баллов за полностью выполненное задание – 60.

Критерии оценивания результатов практического задания:

0 баллов - задание не выполнено.

Если задание выполнено, то от максимального количества баллов вычитаются штрафные баллы:

- 20 баллов - не выполнена постобработка результатов топологической оптимизации - 40 баллов - не выполнена топологическая оптимизация и постобработка её результатов.

- 2 балла за каждое отступление от заданной в задании геометрии в исходной 3D модели.

- 2 балла за каждую отступление от исходных данных при постановке.

Семестровое задание. 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. Если хотя бы одно из вышеперечисленных требований не выполнено, студент получает «штрафные баллы».

Штрафные баллы: отклонение формы или геометрии изделия от задания:

-1 балл, размеры не выдержаны: -1 балл, материал выбран неверно или не указан: -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.

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.

Промежуточная аттестация. Зачёт. 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.

Критерии оценивания ответов на теоретические вопросы:

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.

Критерии оценивания результатов практического задания: 0 баллов - задание не выполнено.

Если задание выполнено, то от максимального количества баллов вычитаются штрафные баллы:

- 20 баллов - не выполнена постобработка результатов топологической оптимизации
- 40 баллов - не выполнена топологическая оптимизация и постобработка её результатов.
- 2 балла за каждое отступление от заданной в задании геометрии в исходной 3D модели.
- 2 балла за каждую отступление от исходных данных при постановке задачи топологической оптимизации.
- 2 балла за некорректно заданные критерии топологической оптимизации
- 2 балла за некорректно заданные ограничения при выполнении топологической оптимизации.

**ТЕМЫ ДОКЛАДОВ НА СЕМИНАР: «КОНСТРУКТИВНЫЙ ОБЛИК ИЗДЕЛИЙ:  
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ»**

1. Субтрактивные технологии. Обработка резанием. Токарное точение. Требования к конструкции деталей.
2. Субтрактивные технологии. Обработка резанием. Фрезерование. Требования к конструкции деталей.
3. Субтрактивные технологии. Обработка резанием. Обработка осевым инструментом. Требования к конструкции деталей.
4. Субтрактивные 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. 20 25
32. Аддитивные технологии. Металлические материалы. Прямое нанесение металла (DMD). Требования к конструкции изделий.
33. Аддитивные технологии. Селективное лазерное сплавление. Требования к конструкции изделий.

Задания на практические занятия

# 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 ( $R_{\text{сжимающая}}=0,25F$ ). В качестве критерия оптимизации принято: уменьшение массы на 30%.
3. Провести постобработку полученных результатов

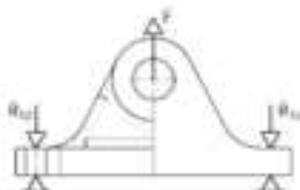
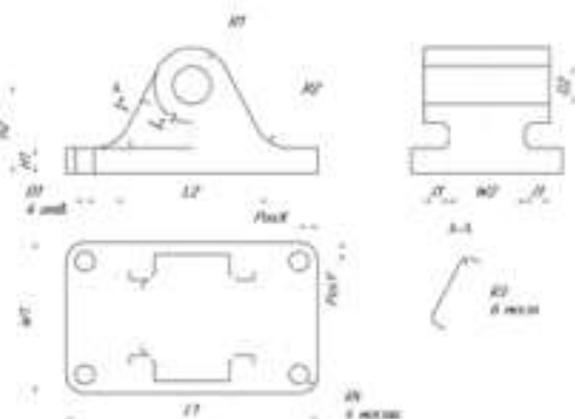


Схема нагружения



# Задание. Варианты

№№	Материал	Размеры, мм														F, П	
		L1	W1	H1	D1	PosX	PosY	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	3	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	13	15	15	80	90	40	45	20	40	35	3	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	3	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	3	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	3	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	3	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	20	15	3	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	3	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

1. По заданным параметрам подготовить 3D модель.
2. Провести ее топологическую оптимизацию с учетом заданных нагрузок и критерия оптимизации.
3. Провести постобработку модели.

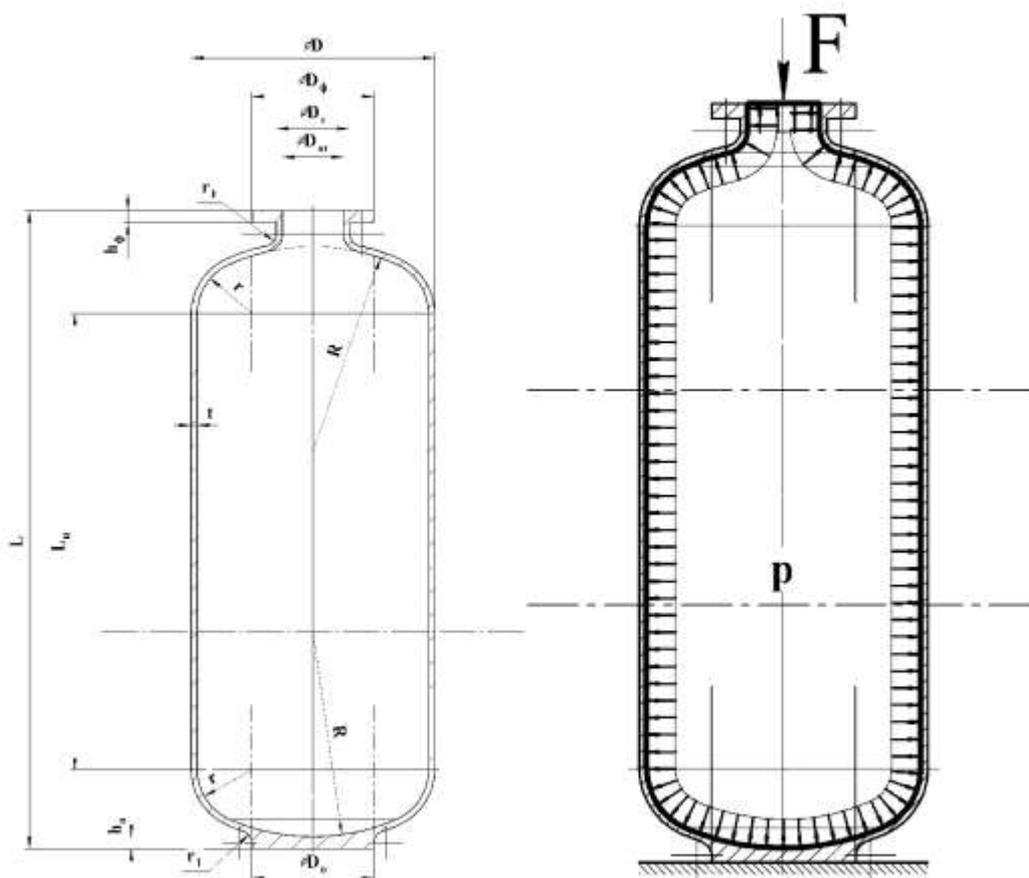


Рисунок. Геометрические параметры модели и условия нагружения

Таблица

Исходные данные для практического задания 2

Вариант	Материал	D, мм	L, мм	L <sub>н</sub>	t, мм	r, мм	R, мм	D <sub>в</sub> , мм	h <sub>в</sub> , мм	D <sub>ф</sub> , мм	h <sub>ф</sub> , мм	D <sub>г</sub> , мм	D <sub>н</sub> , мм	r <sub>г</sub> , мм	F, Н	p, МПа	Снижение массы, %	Увеличение перемещени в раз (не более)
1	AISI 1020	400	1000	500	50	0.05D	0.8D	350	1.2t	300	30	D <sub>н</sub> +2t	100	20	5000	30	5	1.2
2	AISI 316L	500	1100	600	50	0.10D	1.0D	300	1.0t	400	20	D <sub>н</sub> +2t	150	10	10000	10	10	1.1
3	AISI 1045	600	1200	700	60	0.15D	1.2D	400	1.3t	350	40	D <sub>н</sub> +2t	200	40	15000	5	15	1.3
4	AISI 1020	700	1300	800	60	0.2D	1.4D	400	1.05t	400	20	D <sub>н</sub> +2t	200	25	20000	20	20	1.4
5	AISI 316L	400	1400	900	40	0.10D	1.6D	250	1.1t	350	40	D <sub>н</sub> +2t	100	15	5000	15	7	1.15
6	AISI 1045	500	1500	1000	40	0.15D	1.8D	350	1.4t	300	30	D <sub>н</sub> +2t	150	20	10000	40	9	1.1
7	AISI 1020	600	1600	1100	50	0.20D	2.0D	300	1.5t	350	40	D <sub>н</sub> +2t	150	10	15000	8	20	1.5
8	AISI 316L	700	1700	1200	50	0.05D	2.2D	400	1.2t	300	30	D <sub>н</sub> +2t	200	40	20000	30	25	1.6
9	AISI 1045	400	1800	1300	60	0.15D	0.8D	400	1.0t	400	20	D <sub>н</sub> +2t	100	25	5000	10	30	1.55
10	AISI 1020	500	1900	1400	60	0.20D	1.0D	250	1.3t	300	30	D <sub>н</sub> +2t	100	15	10000	5	15	1.4
11	AISI 316L	600	1000	500	40	0.05D	1.2D	350	1.05t	400	20	D <sub>н</sub> +2t	150	20	15000	20	11	1.2
12	AISI 1045	700	1100	600	40	0.10D	1.4D	300	1.1t	350	40	D <sub>н</sub> +2t	200	10	20000	15	5	1.1
13	AISI 1020	400	1200	700	50	0.20D	1.6D	400	1.4t	400	20	D <sub>н</sub> +2t	200	40	5000	40	10	1.3
14	AISI 316L	500	1300	800	50	0.05D	1.8D	400	1.5t	350	40	D <sub>н</sub> +2t	100	25	10000	8	15	1.4
15	AISI 1045	600	1400	900	60	0.10D	2.0D	250	1.2t	300	30	D <sub>н</sub> +2t	150	15	15000	30	20	1.15
16	AISI 1020	700	1500	1000	60	0.15D	2.2D	350	1.0t	350	40	D <sub>н</sub> +2t	150	20	20000	10	7	1.1
17	AISI 316L	400	1600	1100	40	0.05D	0.8D	300	1.3t	300	30	D <sub>н</sub> +2t	200	10	5000	5	9	1.5
18	AISI 1045	500	1700	1200	40	0.10D	1.0D	400	1.05t	400	20	D <sub>н</sub> +2t	100	40	10000	20	20	1.6
19	AISI 1020	600	1800	1300	50	0.15D	1.2D	400	1.1t	300	30	D <sub>н</sub> +2t	100	25	15000	15	25	1.55
20	AISI 316L	700	1900	1400	50	0.2D	1.4D	250	1.4t	400	20	D <sub>н</sub> +2t	150	15	20000	40	30	1.4
21	AISI 1045	400	1000	500	60	0.10D	1.6D	350	1.5t	350	40	D <sub>н</sub> +2t	200	20	5000	8	15	1.2
22	AISI 1020	500	1100	600	60	0.15D	1.8D	300	1.2t	400	20	D <sub>н</sub> +2t	200	10	10000	30	11	1.1
23	AISI 316L	600	1200	700	40	0.20D	2.0D	400	1.0t	350	40	D <sub>н</sub> +2t	100	40	15000	10	5	1.3
24	AISI 1045	700	1300	800	40	0.05D	2.2D	400	1.3t	300	30	D <sub>н</sub> +2t	150	25	20000	5	10	1.4
25	AISI 1020	400	1400	900	50	0.15D	0.8D	250	1.05t	350	40	D <sub>н</sub> +2t	150	15	5000	20	15	1.15
26	AISI 316L	500	1500	1000	50	0.20D	1.0D	350	1.1t	300	30	D <sub>н</sub> +2t	200	20	10000	15	20	1.1
27	AISI 1045	600	1600	1100	60	0.05D	1.2D	300	1.4t	400	20	D <sub>н</sub> +2t	100	10	15000	40	7	1.5
28	AISI 1020	700	1700	1200	60	0.10D	1.4D	400	1.5t	300	30	D <sub>н</sub> +2t	100	40	20000	8	9	1.6
29	AISI 316L	400	1800	1300	40	0.20D	1.6D	400	1.2t	400	20	D <sub>н</sub> +2t	150	25	5000	30	20	1.55
30	AISI 1045	500	1900	1400	40	0.05D	1.8D	250	1.0t	350	40	D <sub>н</sub> +2t	200	15	10000	10	25	1.4

**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

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ЗАЧЕТ**

1. По заданным параметрам подготовить 3D модель.
2. Провести ее топологическую оптимизацию с учетом заданных нагрузок и критерия оптимизации.
3. Провести постобработку модели.

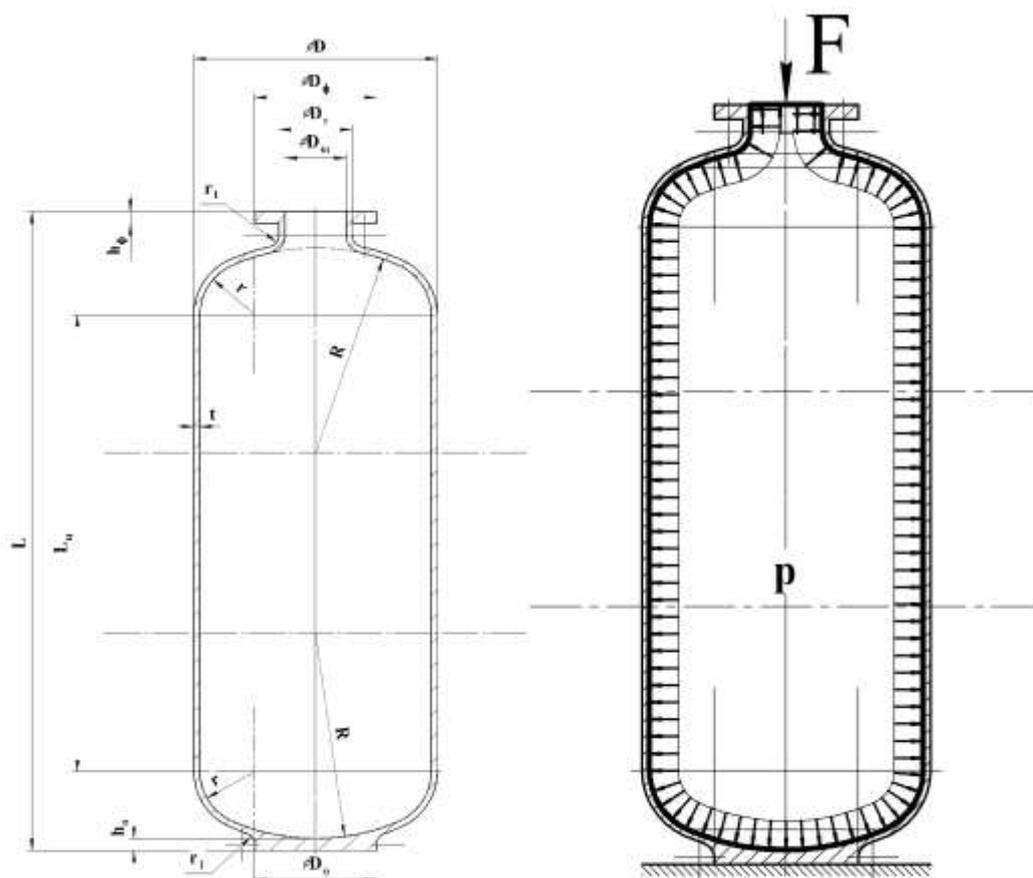


Рисунок. Геометрические параметры модели и условия нагружения

Таблица

Исходные данные для практической части зачета.

Вариант	Материал	D, мм	L, мм	L <sub>н</sub>	l, мм	r, мм	R, мм	D <sub>вн</sub> , мм	h <sub>вн</sub> , мм	D <sub>вн*</sub> , мм	h <sub>вн*</sub> , мм	D <sub>вн*</sub> , мм	D <sub>вн*</sub> , мм	r <sub>1</sub> , мм	F, Н	p, МПа	Снижение массы, %
1	AISI 1020	400	1000	500	50	0.05D	0.8D	350	1.2t	300	30	D <sub>вн</sub> +2t	100	20	5000	30	20
2	AISI 316L	500	1100	600	50	0.10D	1.0D	300	1.0t	400	20	D <sub>вн</sub> +2t	150	10	10000	10	25
3	AISI 1045	600	1200	700	60	0.15D	1.2D	400	1.3t	350	40	D <sub>вн</sub> +2t	200	40	15000	5	30
4	AISI 1020	700	1300	800	60	0.2D	1.4D	400	1.05t	400	20	D <sub>вн</sub> +2t	200	25	20000	20	25
5	AISI 316L	400	1400	900	40	0.10D	1.6D	250	1.1t	350	40	D <sub>вн</sub> +2t	100	15	5000	15	10
6	AISI 1045	500	1500	1000	40	0.15D	1.8D	350	1.4t	300	30	D <sub>вн</sub> +2t	150	20	10000	40	15
7	AISI 1020	600	1600	1100	50	0.20D	2.0D	300	1.5t	350	40	D <sub>вн</sub> +2t	150	10	15000	8	20
8	AISI 316L	700	1700	1200	50	0.05D	2.2D	400	1.2t	300	30	D <sub>вн</sub> +2t	200	40	20000	30	25
9	AISI 1045	400	1800	1300	60	0.15D	0.8D	400	1.0t	400	20	D <sub>вн</sub> +2t	100	25	5000	10	30
10	AISI 1020	500	1900	1400	60	0.20D	1.0D	250	1.3t	300	30	D <sub>вн</sub> +2t	100	15	10000	5	25
11	AISI 316L	600	1000	500	40	0.05D	1.2D	350	1.05t	400	20	D <sub>вн</sub> +2t	150	20	15000	20	10
12	AISI 1045	700	1100	600	40	0.10D	1.4D	300	1.1t	350	40	D <sub>вн</sub> +2t	200	10	20000	15	15
13	AISI 1020	400	1200	700	50	0.20D	1.6D	400	1.4t	400	20	D <sub>вн</sub> +2t	200	40	5000	40	20
14	AISI 316L	500	1300	800	50	0.05D	1.8D	400	1.5t	350	40	D <sub>вн</sub> +2t	100	25	10000	8	25
15	AISI 1045	600	1400	900	60	0.10D	2.0D	250	1.2t	300	30	D <sub>вн</sub> +2t	150	15	15000	30	30
16	AISI 1020	700	1500	1000	60	0.15D	2.2D	350	1.0t	350	40	D <sub>вн</sub> +2t	150	20	20000	10	25
17	AISI 316L	400	1600	1100	40	0.05D	0.8D	300	1.3t	300	30	D <sub>вн</sub> +2t	200	10	5000	5	10
18	AISI 1045	500	1700	1200	40	0.10D	1.0D	400	1.05t	400	20	D <sub>вн</sub> +2t	100	40	10000	20	15
19	AISI 1020	600	1800	1300	50	0.15D	1.2D	400	1.1t	300	30	D <sub>вн</sub> +2t	100	25	15000	15	20
20	AISI 316L	700	1900	1400	50	0.2D	1.4D	250	1.4t	400	20	D <sub>вн</sub> +2t	150	15	20000	40	25
21	AISI 1045	400	1000	500	60	0.10D	1.6D	350	1.5t	350	40	D <sub>вн</sub> +2t	200	20	5000	8	30
22	AISI 1020	500	1100	600	60	0.15D	1.8D	300	1.2t	400	20	D <sub>вн</sub> +2t	200	10	10000	30	25
23	AISI 316L	600	1200	700	40	0.20D	2.0D	400	1.0t	350	40	D <sub>вн</sub> +2t	100	40	15000	10	10
24	AISI 1045	700	1300	800	40	0.05D	2.2D	400	1.3t	300	30	D <sub>вн</sub> +2t	150	25	20000	5	15
25	AISI 1020	400	1400	900	50	0.15D	0.8D	250	1.05t	350	40	D <sub>вн</sub> +2t	150	15	5000	20	20
26	AISI 316L	500	1500	1000	50	0.20D	1.0D	350	1.1t	300	30	D <sub>вн</sub> +2t	200	20	10000	15	25
27	AISI 1045	600	1600	1100	60	0.05D	1.2D	300	1.4t	400	20	D <sub>вн</sub> +2t	100	10	15000	40	30
28	AISI 1020	700	1700	1200	60	0.10D	1.4D	400	1.5t	300	30	D <sub>вн</sub> +2t	100	40	20000	8	25
29	AISI 316L	400	1800	1300	40	0.20D	1.6D	400	1.2t	400	20	D <sub>вн</sub> +2t	150	25	5000	30	10
30	AISI 1045	500	1900	1400	40	0.05D	1.8D	250	1.0t	350	40	D <sub>вн</sub> +2t	200	15	10000	10	15