

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Череповецкий государственный университет»

РАССМОТРЕНО
на заседании Ученого совета
Протокол № 17
от «02» июня 2021 г.



Е.В. Целикова

Дополнительная общеобразовательная общеразвивающая программа

«От школьника до инженера»

Направленность – техническая

Возраст учащихся – 15-18 лет

Срок реализации – 72 часа

Череповец
2021

Ермушин Д.Ю. «От школьника до инженера». Дополнительная общеобразовательная – общеразвивающая программа / под ред. Ермушина Д.Ю. – Череповец: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Череповецкий государственный университет», 2021 г.

Дополнительная общеобразовательная общеразвивающая программа «От школьника до инженера» своей целью ставит создание условий для овладения учащимися уникальными компетенциями в области конечно-элементного моделирования через использование кейс-технологий и метода проектов.

В процессе реализации программы используются различные кейсы, проекты и исследования, ориентированные на рынки Национальной технологической инициативы (далее – НТИ): «Передовые производственные технологии» и «Цифровые технологии в инженерии» (рынок: Технет).

Обучающиеся познакомятся с основами конечно-элементного моделирования в программном комплексе Simulia Abaqus и научатся создавать инженерные проекты.

Синергия методов и технологий, используемых в программе, даст обучающимся уникальные метапредметные компетенции, которые будут полезны в сфере проектирования изделий, процессов и инженерных расчетов.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дополнительная общеобразовательная общеразвивающая программа технической направленности «От школьника до инженера» реализуется на основании следующих нормативных документов:

Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»,

Государственная программа Российской Федерации «Развитие образования», утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2017 г. № 1642,

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным общеобразовательным программам, утвержденный приказом Минпросвещения России от 09.11.2018 № 196 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным общеобразовательным программам»,

Стратегия Научно-технологического развития Российской Федерации Указ Президента Российской Федерации от 01 декабря 2016 № 642,

Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.09.2020 г. № 28 «Об утверждении санитарных правил СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи»,

Устав федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Череповецкий государственный университет»,

Положение о деятельности Центра «Дом научной коллаборации имени академика И.П. Бардина» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Череповецкий государственный университет».

Актуальность программы

В настоящее время существует множество CAD/CAM- и CAE-систем, позволяющих пользователям обеспечить сквозную цепочку автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства новых изделий любой степени сложности. Высокий уровень развития этих программных средств в сочетании с их простотой и доступностью в процессе работы позволяет легко прибегнуть к их использованию в повседневной производственной практике широкому кругу инженеров, не обладающих глубокими знаниями в области информационных технологий. В то же время даже самые «умные» на сегодняшний день компьютерные программы являются всего лишь инструментом в руках человека, а результат работы указанных систем существенно зависит от степени владения предметной областью специалиста, интеллектуальный труд которого и призваны автоматизировать эти программы. Это особенно актуально в отношении современных CAE-систем, где без глубинного понимания исследуемых процессов и овладения методами расчета, заложенным в программе, сегодня просто не обойтись. На изучение стека данных технологий нацелена дополнительная общеобразовательная общеразвивающая программа «От школьника до инженера».

В ходе занятий обучающиеся познакомятся с математическими основами работы CAD/CAM- и CAE-систем. Мы рассмотрим базовые понятия конечно-элементного моделирования такие как, метод конечных разностей, метод конечных объемов, явный решатель, неявный решатель, а также составляющие CAE-системы на примере Abaqus - препроцессор, процессор и постпроцессор и роль инженера на каждом этапе проектирования. Далее будут изучены основы материаловедения,

физики, математики в объеме необходимом для решения простых инженерных задач. Затем мы создадим модель существующего кронштейна и рассчитаем варианты его нагружения.

Синергия методов и технологий, используемых в программе «От школьника до инженера», даст обучающемуся уникальные метапредметные компетенции, которые будут полезны в сфере проектирования изделий и процессов, инженерных расчетов. Программа даёт необходимые компетенции для получения таких профессий, как САЕ-инженер.

В процессе реализации программы используются различные кейсы, проекты и исследования, ориентированные на рынки Национальной технологической инициативы (далее – НТИ): «Передовые производственные технологии» и «Цифровые технологии в инженерии» (рынок: Технет).

Отличительные особенности программы и новизна заключаются в адаптации достаточно сложного понятийного аппарата и учебного материала, включающего в себя математические основы метода конечно-элементного моделирования, физики и материаловедения, для школьников 10-11 классов, а также в использовании кейсов и метода проектов в процессе освоения программы.

Категория обучающихся (адресат программы) – школьники 9-11 класса, студенты (проект «Малая академия») любознательные и целеустремленные, проявляющие интерес к математике и физике, рассматривающих возможность получения таких профессий, как САЕ-инженер.

Сроки реализации программы, режим занятий и формы – общее количество учебных часов – 72 часа, количество часов в неделю – 2 часа 1 раз в неделю, форма организации образовательного процесса – очная, групповая, самостоятельная работа по кейс-заданиям программы.

Возможна дистанционная форма обучения (на платформе Microsoft Teams или других адаптированных платформах) и может быть организована двумя способами:

- при наличии у обучающегося необходимых технических средств он может осваивать материал и выполнять задания в полном объеме, при этом оценка результатов педагогом и консультации при работе будут ограничены возможностями удаленной связи.

- при отсутствии технических средств задания корректируются в сторону разработки заданий без проверки их на конкретной модели, большего использования видеоматериалов и информационных ресурсов для освоения программы.

При организации дистанционного обучения также возможна групповая и самостоятельная работа учащихся по кейс-заданиям программы.

Допустима смешанная форма обучения – очно-дистанционная, групповая и самостоятельная работа учащихся по кейс-заданиям программы.

Занятия могут быть групповые и командные (2-5 человек) и предусматривают интерактивные лекции, лабораторные работы, мастер-классы, деловые игры, тренинги, выполнение самостоятельной работы с использованием кейс-технологии и проектного подхода в обучении. Для наглядности используется различный мультимедийный материал — презентации, видеоролики, приложения и пр. Методы обучения: проведение эксперимента, исследовательская и проектная работа.

Программа рассчитана на проведение занятий в группах от 5 до 16 человек.

Цель и задачи программы

Цель: программа «От школьника до инженера» своей целью ставит создание условий для овладения учащимися уникальными компетенциями в области конечно-элементного моделирования через использование кейс-технологий и метода проектов.

Задачи:

Обучающие:

- объяснить базовые понятия сферы САЕ: задачи, решаемые с использованием САЕ-систем; математические основы конечно-элементного моделирования; программные средства моделирования; разработка инженерных решений;
- сформировать навыки выполнения технологической цепочки проектирования изделия;
- сформировать базовые навыки работы с программным комплексом Abaqus для реализации проектных решений;
- сформировать базовые навыки подготовки построения САД геометрии;
- сформировать базовые навыки проведения прочностных расчетов;
- привить навыки проектной деятельности.

Развивающие:

- на протяжении всех занятий формировать 4К-компетенции (критическое мышление, креативное мышление, коммуникация, кооперация);
- способствовать расширению словарного запаса;
- способствовать развитию памяти, внимания, технического мышления, изобретательности;
- способствовать развитию алгоритмического мышления;
- способствовать формированию интереса к математике и физике процессов;
- способствовать формированию умения практического применения полученных знаний;
- сформировать умение формулировать, аргументировать и отстаивать своё мнение;
- сформировать умение выступать публично с докладами, презентациями и пр.

Воспитательные:

- воспитывать аккуратность и дисциплинированность при выполнении работы;
- способствовать формированию положительной мотивации к трудовой деятельности;
- способствовать формированию опыта совместного и индивидуального творчества при выполнении командных заданий;
- воспитывать трудолюбие, уважение к труду;
- формировать чувство коллективизма и взаимопомощи;
- воспитывать чувство патриотизма, гражданственности, гордости за достижения отечественной инженерной мысли.

Планируемые результаты

Продуктовые результаты: расчетная модель конструкции.

Образовательный результат

Предметные результаты:

- анализирует возможность и целесообразность применения конечно-элементного моделирования для решения поставленной задачи;
- обосновывает упрощения, допускаемые при расчете;

- описывает процесс построения и сборки модели;
- обосновывает применение тех или иных граничных условий в зависимости от поставленной задачи;
- формулирует суть метода конечно-элементного моделирования;
- демонстрирует умение работать с программным комплексом Abaqus;
- создает модель материала основываясь на целях инженерного расчета;
- обосновывает используемый метод построения сетки;
- представляет результат проектной работы.

Личностные результаты:

- демонстрирует критическое отношение к информации и избирательность её восприятия;
- обосновывает мотивы своих действий при выполнении заданий;
- демонстрирует внимательность, настойчивость, целеустремлённость, умение преодолевать трудности;
- обосновывает свои суждения, демонстрирует независимость и нестандартность мышления;
- демонстрирует освоение социальных норм, правил поведения, ролей и форм социальной жизни в группах и сообществах;
- обладает коммуникативной компетентностью в общении и сотрудничестве с другими обучающимися;
- демонстрирует любознательность, сообразительность при выполнении заданий проблемного характера.

Метапредметные результаты:

Регулятивные универсальные учебные действия:

- демонстрирует умение принимать и сохранять учебную задачу;
- умеет планировать последовательность шагов алгоритма для достижения цели;
- обосновывает цель работы, планирование действий для достижения поставленной цели;
- обладает умением осуществлять итоговый и пошаговый контроль по результату;
- способен адекватно воспринимать оценку наставника и других обучающихся;
- демонстрирует умение различать способ и результат действия;
- вносит коррективы в действия в случае расхождения результата решения задачи на основе её оценки и учёта характера сделанных ошибок;
- обосновывает постановку новых учебных задач в сотрудничестве с другими участниками учебного процесса;
- проявляет познавательную инициативу в учебном сотрудничестве;
- осваивает способы решения проблем творческого характера в жизненных ситуациях;
- оценивает получающийся творческий продукт и соотносит его с изначальным замыслом, по необходимости выполняет коррекцию продукта, либо замысла.

Познавательные универсальные учебные действия:

- осуществляет поиск информации в информационных архивах обучающегося, информационной среде образовательного учреждения, федеральных хранилищах информационных образовательных ресурсов;
- использует средства информационных и коммуникационных технологий для решения коммуникативных, познавательных и творческих задач;

- ориентируется в разнообразии способов решения задач;
- анализирует объекты с выделением существенных и несущественных признаков;
- проводит сравнение и классификацию по заданным критериям;
- строит логические рассуждения в форме связи простых суждений об объекте;
- устанавливает аналогии, причинно-следственные связи;
- моделирует объект, выделяя существенные характеристики объекта;
- синтезирует, составляет целое из частей, в том числе самостоятельно достраивает с восполнением недостающих компонентов.

Коммуникативные универсальные учебные действия:

- аргументирует свою точку зрения при определении существенных параметров процесса и допустимых к упрощению;
- выслушивает собеседника и ведет диалог;
- признает возможность существования различных точек зрения и право каждого иметь свою;
- планирует учебное сотрудничество с наставником и другими обучающимися;
- определяет цели, функции участников, способы взаимодействия;
- осуществляет постановку вопросов: инициативное сотрудничество в поиске и сборе информации; умение разрешать конфликты (выявление, идентификация проблемы, поиск и оценка альтернативных способов разрешения конфликта, принятие решения и его реализация);
- выражает свои мысли в соответствии с задачами и условиями коммуникации с достаточной полнотой и точностью;
- демонстрирует владение монологической и диалогической формами речи.

УЧЕБНЫЙ ПЛАН

Наименование программы	Возраст	Кол-во часов в нед.	Кол-во часов в год	Всего часов	Формы аттестации	
					декабрь	май
От школьника до инженера	15-18, студенты	2	72	72	Решение кейсов	Решение кейсов/ проект

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

<i>№ п/п</i>	<i>Название раздела, темы</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Теория</i>	<i>Практика</i>	<i>Кейсы, раскрывающие содержание темы</i>	<i>Формы контроля (аттестации)</i>
1	Модуль 1. Основы конечно-элементного моделирования в программном комплексе Simulia Abaqus.	36	14	22	<p><i>Кейс 1:</i> Основы конечно-элементного моделирования, область применения, знакомство с интерфейсом программы.</p> <p><i>Кейс 2:</i> Создание детали с помощью модуля Part.</p> <p><i>Кейс 3:</i> Импорт и исправление геометрии.</p> <p><i>Кейс 4:</i> Основы материаловедения, способы задания материалов в Abaqus.</p> <p><i>Кейс 5:</i> Сборка модели.</p> <p><i>Кейс 6:</i> Шаги анализа и процедуры. Выходные данные и их настройка.</p> <p><i>Кейс 7:</i> Контактные взаимодействия</p> <p><i>Кейс 8:</i> Нагрузки. Начальные и граничные условия.</p> <p><i>Кейс 9:</i> Построение расчетной сетки.</p> <p><i>Кейс 10:</i> Постановка моделей на расчет. Обработка результатов.</p>	Решение кейсов
2	Модуль 2. Моделирование и защита проекта	36	10	26	<p><i>Кейс 1:</i> Основы температурного анализа</p> <p><i>Кейс 2:</i> Постановка моделей с многошаговым анализом</p> <p><i>Кейс 3:</i> Постановка нелинейной динамической модели</p> <p><i>Кейс 4:</i> Основы топологической оптимизации</p> <p><i>Кейс 5.</i> Построение модели проекта</p> <p><i>Кейс 6.</i> Анализ результатов и подготовка отчета.</p> <p><i>Кейс 7.</i> Защита проекта</p>	Защита проекта
Итого часов:		72	24	38		

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Модуль 1. Основы конечно-элементного моделирования в программном комплексе Simulia Abaqus.

Кейс 1: Основы конечно-элементного моделирования, область применения, знакомство с интерфейсом программы.

Теоретические занятия: понятие конечно-элементного моделирования назначение и примеры задач, решаемых с использованием метода конечных элементов.

Практические занятия: в этом кейсе обучающиеся познакомятся с основами конечно-элементного моделирования, познакомятся с интерфейсом программы Simulia Abaqus, а также соберут свою первую модель под руководством преподавателя.

Кейс 2: Создание детали с помощью модуля Part.

Теоретические занятия: Знакомство с инструментами модуля Part

Практические занятия: обучающиеся в ходе выполнения практического занятия начертят геометрию своей первой детали, которая в дальнейшем будет использована для построения и расчета модели

Кейс 3: Импорт и исправление геометрии.

Теоретические занятия: рассмотрение основных проблем, которые возникают при переносе геометрии. Методы обработки геометрии.

Практические занятия: зачастую расчетчику приходится использовать геометрию детали или системы, которую предоставляет заказчик. При импорте такой геометрии, могут возникнуть ошибки и не точности. В ходе этого занятия обучающиеся смогут освоить способы исправления геометрии.

Кейс 4: Основы материаловедения, способы задания материалов в Abaqus.

Теоретические занятия: основы поведения материалов при различных нагрузках, а также способы описания различного типа материалов в программном комплексе SIMULIA Abaqus.

Практические занятия: В этом кейсе обучающиеся познакомятся с различными способами описания материала в программном комплексе Simulia Abaqus, смогут увидеть различие в поведении этих материалов под воздействием нагрузки.

Кейс 5: Сборка модели.

Теоретические занятия: основные понятия различных видов систем координат.

Практические занятия: расчетчик чаще всего рассматривает не отдельную деталь, а систему в целом. В ходе практического занятия учащийся сможет собрать сложную деталь, которую в дальнейшем будет использовать при расчете.

Кейс 6: Шаги анализа и Процедуры. Выходные данные и их настройка.

Теоретические занятия: знакомство с типами анализа моделей, а также способами настройки выходных данных.

Практические занятия: в этом кейсе обучающиеся определяют необходимый метод анализа для построения модели

Кейс 7: Контактные взаимодействия.

Теоретические занятия: подходы моделирования контакта в Simulia Abaqus

Практические занятия: в этом кейсе обучающиеся сможет познакомится с различными способами определения типа контактного взаимодействия в Simulia Abaqus, а также определения типа поверхности контактных пар.

Кейс 8: Нагрузки. Начальные и граничные условия.

Теоретические занятия: основные законы динамики. Знакомство с основными способами определения начальных и граничных условий, а также типов нагрузений в Simulia Abaqus.

Практические занятия: в этом кейсе обучающиеся смогут попробовать определить различные типы нагрузок и граничных условий, которые используются при построении модели

Кейс 9: Построение расчетной сетки.

Теоретические занятия: основы численных методов. Знакомство с методами и типами построения сеток.

Практические занятия: в этом кейсе обучающийся сможет попробовать различные способы сеточного построения. Эти навыки пригодятся в дальнейшем для построения модели.

Кейс 10: Постановка моделей на расчет. Обработка результатов.

Теоретические занятия: Основы поведения материалов под нагрузкой. Знакомство с постпроцессором программного комплекса Simulia Abaqus.

Практические занятия: в этом кейсе обучающиеся познакомятся с инструментами обработки результатов в ПО Abaqus.

Модуль 2. Моделирование и защита проекта.

Кейс 1: Основы температурного анализа.

Теоретические занятия: Основы термодинамики. Основы построения моделей с использованием температурного анализа в ПК Simulia Abaqus.

Практические занятия: в этом кейсе обучающиеся познакомятся с основными уравнениями термодинамики, при постановке температурной задачи на расчет.

Кейс 2: Постановка моделей с многошаговым анализом.

Теоретические занятия: основы построения моделей с использованием многошагового анализа на расчет.

Практические занятия: в этом кейсе обучающиеся познакомятся на практике с инструментами с помощью которых в Abaqus можно проводить многошаговые испытания, а также междисциплинарные расчеты.

Кейс 3: Постановка нелинейной динамической модели.

Теоретические занятия: основы постановки динамических расчетов в программном комплексе Simulia Abaqus.

Практические занятия: в рамках практических занятий обучающиеся смогут на практике посмотреть основные принципы постановки динамических расчетов.

Кейс 4. Построение модели проекта.

В рамках данного кейса обучающиеся получают задание и по нему подготовят модель на расчет.

Кейс 5. Анализ результатов и подготовка отчета.

В процессе выполнения данного кейса обучающиеся должны будут обработать результаты расчета проекта, а также подготовить отчет в формате презентации.

Кейс 6. Защита проекта

В процессе выполнения данного проекта обучающиеся должны будут защитить проект. В ходе защиты они проявят свои как профессиональные качества, так и навыки коммуникации.

УЧЕБНО-КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

№ п/п	Месяц	Форма занятия	Кол-во часов	Тема раздела/модуля/ занятия	Место проведения	Форма контроля
1	Сентябрь-декабрь	Комбинированное	36	Модуль 1. Основы конечно-элементного моделирования в программном комплексе Simulia Abaqus.	Учебный кабинет	По содержанию кейса
2	Январь-май	Комбинированное	36	Модуль 2. Моделирование и защита проекта	Учебный кабинет	По содержанию кейса/проект

ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Материально-техническая база:

Занятия проводятся на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Череповецкий государственный университет».

Аппаратное и техническое обеспечение:

- Рабочее место обучающегося: ноутбук: производительность процессора (по тесту PassMark — CPU BenchMark <http://www.cpubenchmark.net/>): не менее 2000 единиц; объём оперативной памяти: не менее 4 Гб; объём накопителя SSD/eMMC: не менее 128 Гб (или соответствующий по характеристикам персональный компьютер с монитором, клавиатурой и колонками); мышь.
- Рабочее место наставника: ноутбук: процессор Intel Core i5-4590/AMD FX 8350 — аналогичная или более новая модель, графический процессор NVIDIA GeForce GTX 970, AMD Radeon R9 290 — аналогичная или более новая модель, объём оперативной памяти: не менее 4 Гб, видеовыход HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 или более новая модель (или соответствующий по характеристикам персональный компьютер с монитором, клавиатурой и колонками); презентационное оборудование с возможностью подключения к компьютеру — 1 комплект; флипчарт с комплектом листов/маркерная доска, соответствующий набор письменных принадлежностей — 1 шт.; сеть Wi-Fi.

Программное обеспечение:

- офисное программное обеспечение;
- браузеры;
- среда моделирования на базе студенческой версии программного комплекса SIMULIA Abaqus;
- графический редактор.

Информационные средства обучения:

- кейсы тематические;
- мультимедийные обучающие презентации;
- комплект технологических инструкций;
- инструкции по технике безопасности.

Кадровые условия:

Проводит занятия работник, имеющий опыт программирования, проектирования и моделирования объектов в программном комплексе SIMULIA Abaqus и владеющий математическими методами конечно-элементного анализа. Желателен опыт работы с детьми школьного возраста.

Требования к образованию: высшее профессиональное, также вести занятия может студент старших курсов профильных направлений.

Наличие справки об отсутствии судимости, медицинская книжка.

Учебно-методическое обеспечение программы

При реализации программы в качестве ведущих технологий и подходов используются кейс-технологии и системно-деятельностный подход.

Основными видами деятельности являются информационно-рецептивная, репродуктивная, частично-поисковая, проектная и творческая.

Информационно-рецептивная деятельность учащихся предусматривает освоение теоретической информации через лекцию педагога, сопровождающуюся презентацией и демонстрациями, беседу, самостоятельную работу с литературой.

Репродуктивная деятельность учащихся направлена на овладение ими умениями и навыками через выполнение практико-ориентированных заданий по схеме.

Частично-поисковая деятельность учащихся включает овладение ими умениями и навыками через выполнение практико-ориентированных заданий в измененной ситуации.

Проектная и творческая деятельность предполагает самостоятельную или почти самостоятельную работу учащихся при выполнении проектов.

Взаимосвязь этих видов деятельности создает условия для формирования технического мышления у обучающихся и способствует профессионализации учащихся.

ФОРМЫ АТТЕСТАЦИИ И ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Степень усвоения материала обучающимися определяется преподавателем по результатам демонстрации выполненных заданий и ответов на вопросы (в том числе вопросы в кейсах).

Итоговая «оценка» по всей программе производится в форме выступления и представления индивидуального или группового проекта, или научно-исследовательской работы в форме презентации (3-5 слайдов) и оценивается по трём уровням:

- «высокий»: проект или научно-исследовательская работа носила творческий, самостоятельный характер и выполнен полностью в планируемые сроки;
- «средний»: обучающийся выполнил основные задачи проекта или научно-исследовательской работы, но имеют место недоработки или отклонения по срокам;
- «низкий»: проект или работа не закончены, большинство целей не достигнуты.

Результатом усвоения обучающимися программы по каждому уровню являются устойчивый интерес к занятиям по программированию, проектированию и моделированию объектов в программном комплексе SIMULIA Abaqus и математическим методам конечно-элементного анализа.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

1. Акопов, А.С. Имитационное моделирование. учебник и практикум для академического бакалавриата / А.С. Акопов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 389 с.
2. Девятков, В.В. Имитационное моделирование: Учебное пособие / Н.Б. Кобелев, В.А. Половников, В.В. Девятков. - М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 368 с.
3. Решмин, Б.И. Имитационное моделирование и системы управления / Б.И. Решмин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 74 с.

Дополнительная:

1. Бате К.-Ю. Методы конечных элементов. - М.: Физматлит, 2010. — 1024 с.
2. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. / Ю.И. Рыжиков. - М.: Альтекс-А, 2004. - 384 с.
3. O. C. Zienkiewicz R. L. Taylor. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics 7th Edition. - Butterworth-Heinemann, 2013. – 672 p.

Список рекомендованной литературы для обучающихся:

Основная:

1. Александров, Потапов, Державин. Сопротивление материалов. 3-е изд. испр. Учебник. 2003 год. 561 стр.
2. Бабенков, Ю.И. Основы теплотехники: учебное пособие / Ю.И. Бабенков. - РнД: Феникс, 2017. - 330 с.

Дополнительная:

1. Акопов, А.С. Имитационное моделирование. учебник и практикум для академического бакалавриата / А.С. Акопов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 389 с.
2. Бате К.-Ю. Методы конечных элементов. - М.: Физматлит, 2010. — 1024 с.

Электронные ресурсы:

1. <https://www.researchgate.net/topic/Engineering>
2. https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/abaqus/abaqus_begin.pdf
3. https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/abaqus/abaqus_appltask.pdf