

28 января 2020 года

## Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

### Задание заключительного этапа

по направлению «Цифровое проектирование и моделирование»

Для участников всех категорий

Время выполнения задания – **240 минут (4 часа)**

Язык выполнения задания – русский

Ниже в документе приведены задания для заключительного этапа. Все задания разделены на три группы:

- теоретические вопросы;
- задания по компьютерному проектированию (CAD);
- задания по компьютерному инжинирингу (CAE).

Все предлагаемые задания являются практико-ориентированными и разработаны совместно с ИЦ «Центр компьютерного инжиниринга» СПбПУ (CompMechLab).

**ВАЖНО!** Решение задач из разделов по компьютерному проектированию и компьютерному инжинирингу допускается выполнять **только в программной системе Autodesk Fusion 360**, предоставляемой организаторами. При этом допускается применение **только учетной записи пользователя Autodesk вида [yaproNNN@compmechlab.com](mailto:yaproNNN@compmechlab.com)**, предоставленной участнику организаторами.

### Группа заданий 1. Теоретические вопросы

Группа заданий состоит из семи вопросов.

**Вопрос Т-1. От каких параметров зависит число обусловленности матрицы системы конечно-элементных уравнений?**

Варианты ответа.

- А. От условий нагружения и закрепления.
- Б. От длительности моделируемого процесса и шага интегрирования.
- В. От размеров и формы конечных элементов.
- Г. От значения интегральной элементной функции Винера.

Данный вопрос допускает один верный ответ. На бланке ответов в соответствующем месте укажите букву, соответствующую верному ответу.

**Вопрос Т-2. Каково суммарное количество степеней свободы для всех узлов конечно-элементной модели, состоящей из одного гексаэдрального конечного элемента третьего порядка с трапецидальным основанием, при решении связанной термомеханической трехмерной задачи?**

Варианты ответа не предоставляются.

Данный вопрос допускает ответ в виде натурального числа. На бланке ответов в соответствующем месте укажите число, соответствующее верному ответу.

**Вопрос Т-3. Для чего при конечно-элементном решении задач применяется «масштабирование массы» («скалирование массы» или «mass scaling»)?**

Варианты ответа.

- А. Для снижения эффективной размерности задачи.
- Б. Для повышения абсолютной точности решения задачи.
- В. Для компенсации неточности вычисления масс элементов при формировании системы конечно-элементных уравнений.
- Г. Для повышения величины шага интегрирования, обеспечивающего выполнения критерия Куранта.

Данный вопрос допускает один верный ответ. На бланке ответов в соответствующем месте укажите букву, соответствующую верному ответу.

**Вопрос Т-4. Какие меры целесообразно предпринимать в случае возникновения сложностей со сходимостью динамической механической контактной задачи?**

Варианты ответа.

- А. Измельчение конечно-элементной сетки в области предполагаемого контакта.
- Б. Замена динамической постановки задачи на статическую.
- В. Снижение контактной жесткости.
- Г. Все перечисленное выше.

Данный вопрос допускает любое количество верных ответов. На бланке ответов в соответствующем месте укажите букву или набор букв, соответствующих верному ответу.

**Вопрос Т-5. Какие из видов контактного взаимодействия в общем случае требуют решения задачи в нелинейной постановке?**

Варианты ответа.

- А. Контактное взаимодействие с трением (frictional).
- Б. Контактное взаимодействие типа склейки (bonded, tie).
- В. Контактное взаимодействие без отрыва (no separation).
- Г. Контактное взаимодействие без трения (frictionless).

Данный вопрос допускает любое количество верных ответов. На бланке ответов в соответствующем месте укажите букву или набор букв, соответствующих верному ответу.

**Вопрос Т-6. В каких характерных точках выполняется вычисление напряжений и перемещений при конечно-элементном решении задачи прочности?**

Варианты ответа.

- А. Перемещения – в узлах, напряжения – в узлах.
- Б. Перемещения – в точках интегрирования по Гауссу, напряжения – в узлах.
- В. Перемещения – в узлах, напряжения – в точках интегрирования по Гауссу.
- Г. Перемещения – в точках интегрирования по Гауссу, напряжения – в точках интегрирования по Гауссу.

Данный вопрос допускает один верный ответ. На бланке ответов в соответствующем месте укажите букву, соответствующую верному ответу.

**Вопрос Т-7. Каковы требования к матрице Якоби, определяющей однозначное отображение элемента из глобальных координат в локальные координаты?**

Варианты ответа.

- А. Определитель матрицы должен быть отличен от нуля.
- Б. Определитель матрицы должен быть равен нулю.
- В. Определитель матрицы должен быть строго больше нуля.
- Г. Определитель матрицы должен быть строго меньше нуля.

Данный вопрос допускает один верный ответ. На бланке ответов в соответствующем месте укажите букву, соответствующую верному ответу.

## Группа заданий 2. Задания по компьютерному проектированию

Группа заданий состоит из двух заданий.

В рамках выполнения заданий необходимо построить CAD-модель детали, показанной на Рисунке 1.

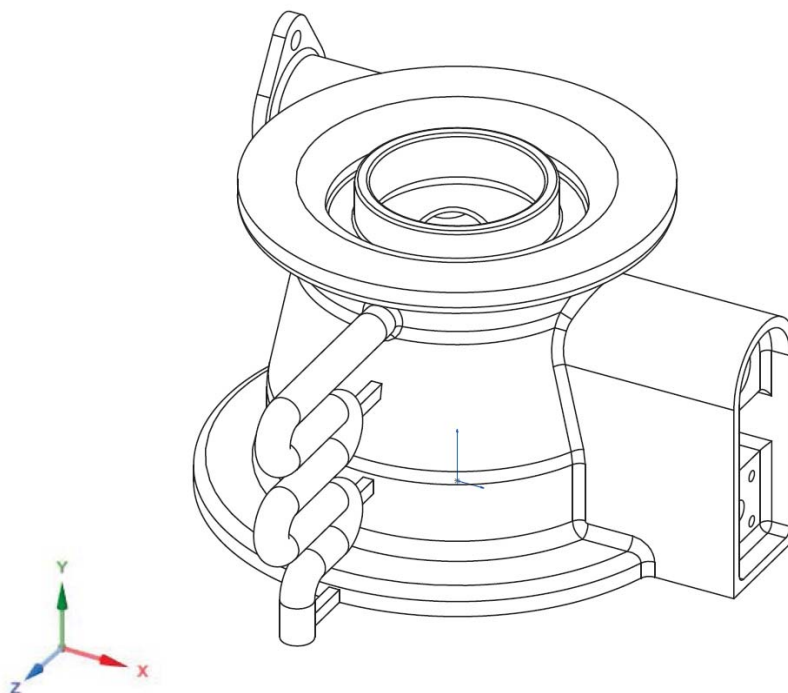


Рисунок 1 – Деталь для построения CAD-модели

Построение необходимо выполнить на основе набора эскизов, предоставленных организаторами в Приложении к данному документу. Приложение содержит 7 (семь) листов.

### **ВАЖНО!**

1. Построение модели из данного раздела допускается выполнять **только в программной системе Autodesk Fusion 360**, предоставляемой организаторами. При этом допускается применение **только учетной записи пользователя Autodesk вида `yaproNNN@compmechlab.com`, предоставленной участнику организаторами.**
2. При выполнении построения необходимо ориентировать деталь в пространстве таким образом, как это показано на Рисунке 1. Положение детали относительно начала отсчета не имеет значения, но **несоответствие ориентации детали относительно базовых плоскостей может привести к оценке ответа как некорректного.**

### **Задание CAD-1. Измерение объема и площади поверхности**

Выполните построение геометрии детали в соответствии с эскизами из Приложения, после чего произведите измерение объема детали и площади поверхности детали средствами Autodesk Fusion 360.

На бланке ответов в соответствующих местах укажите ожидаемые результаты:

- полученный **объем детали (volume)** в мм<sup>3</sup>;
- полученную **площадь детали (area)** в мм<sup>2</sup>.

Рекомендуется применение формата представления чисел вида «1,234E+56» с точностью до третьего знака после запятой.

### **Задание CAD-2. Измерение моментов инерции относительно центра масс**

Выполните построение геометрии детали в соответствии с эскизами, после чего произведите измерение моментов инерции детали средствами Autodesk Fusion 360. При измерении моментов инерции следует считать, что деталь изготовлена из стандартного материала «Steel» библиотеки материалов программной системы.

На бланке ответов в соответствующих местах укажите ожидаемые результаты:

- полученный момент инерции  $I_{xx}$  в г×мм<sup>2</sup>;
- полученный момент инерции  $I_{yy}$  в г×мм<sup>2</sup>;
- полученный момент инерции  $I_{zz}$  в г×мм<sup>2</sup>.

Следует измерять моменты инерции **относительно центра массы детали (moment of inertia at center of mass)**.

Рекомендуется применение формата представления чисел вида «1,234E+56» с точностью до третьего знака после запятой.

### Группа заданий 3. Задания по компьютерному инжинирингу

Группа заданий состоит из пяти заданий.

#### Задание САЕ-1. Изгиб пластины с отверстием

Требуется исследовать механическое поведение толстой пластины с круглым отверстием, закрепленной консольно. На свободный торец пластины действует равномерно распределенная изгибающая сила в направлении оси Z. Схема закрепления и нагружения поясняется на Рисунке 2.

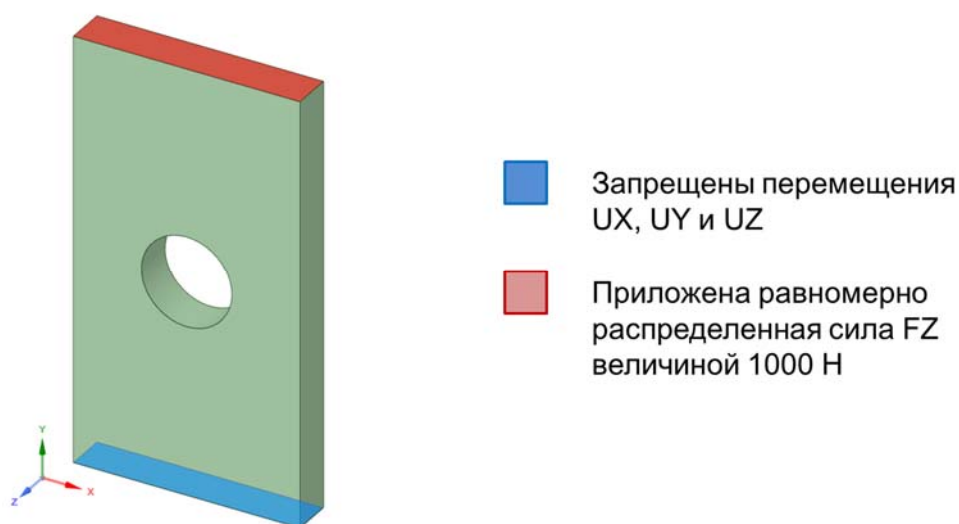


Рисунок 2 – Схема закрепления и нагружения пластины

При решении задачи следует считать, что пластина изготовлена из стандартного алюминия, характеристики для которого доступны в базе материалов Autodesk Fusion 360 (материал – «**Aluminium**»).

Решение задачи необходимо выполнить с применением линейной конечно-элементной сетки.

На бланке ответов в соответствующем месте укажите ожидаемый результат:

- **величину максимального значения модуля вектора перемещений в миллиметрах** с точностью до 0,001 мм.

### Задание САЕ-2. Определение жесткостей и собственной частоты колебаний элемента квадрокоптера

Необходимо проанализировать поведение элемента рамы квадрокоптера. Геометрия объекта несколько скорректирована для упрощения процесса решения. Внешний вид рассматриваемой детали поясняется на Рисунке 3.

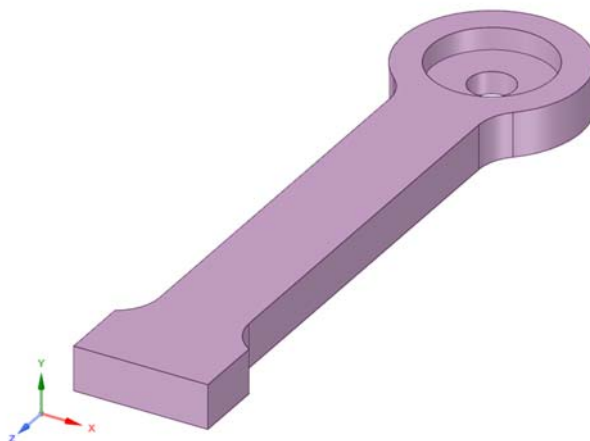


Рисунок 3 – Рассматриваемый элемент рамы квадрокоптера

При решении задачи следует считать, что рассматриваемая деталь закреплена в области, показанной на Рисунке 4. Расположение области воздействия усилий также поясняется на Рисунке 4.

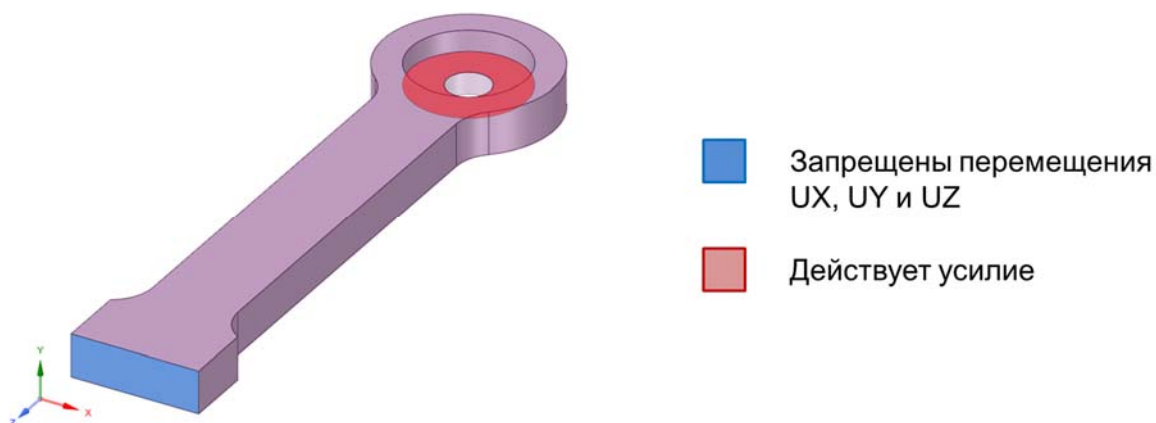


Рисунок 4 – Расположение закрепленной области и области действия усилия

Фрагмент рамы изготовлен из стандартного **ABS**-пластика, характеристики которого доступны в библиотеке материалов Autodesk Fusion 360.

Необходимо определить величины жесткостей элемента квадрокоптера в направлении осей X и Y. Для выполнения оценок в рамках данного задания

следует использовать величину максимального значения модуля вектора перемещений.

Также необходимо определить величину первой частоты собственных колебаний элемента квадрокоптера.

Решение задачи необходимо выполнить с применением линейной конечно-элементной сетки.

На бланке ответов в соответствующих местах укажите ожидаемые результаты:

- полученную **величину жесткости в направлении оси X** в Н/мм с точностью до 0,001 Н/мм;
- полученную **величину жесткости в направлении оси Y** в Н/мм с точностью до 0,001 Н/мм;
- полученное значение **величины первой собственной частоты** с точностью 0,1 Гц.

### Задание САЕ-3. Нагревание металлического диска

Требуется исследовать механическое поведение металлического диска, состоящего из трех материалов, структура которого показана на Рисунке 5. Названия материалов приведены в соответствии с данными библиотеки материалов Autodesk Fusion 360.

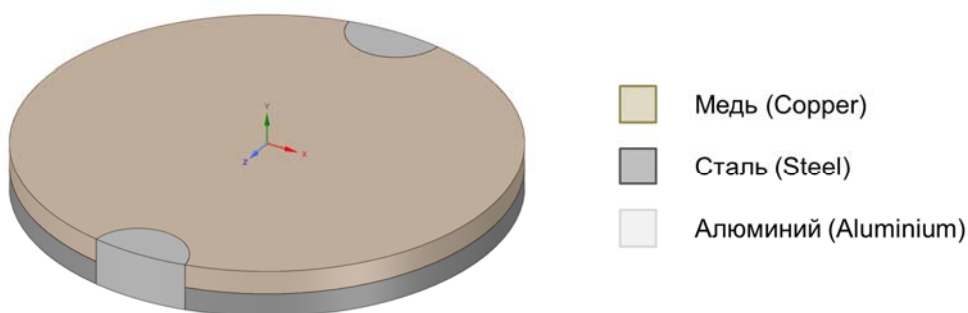


Рисунок 5 – Металлический диск из трех материалов

В рамках исследования необходимо нагреть диск на 200 градусов, после чего оценить величины перемещений в характерных точках, показанных на Рисунке 6.



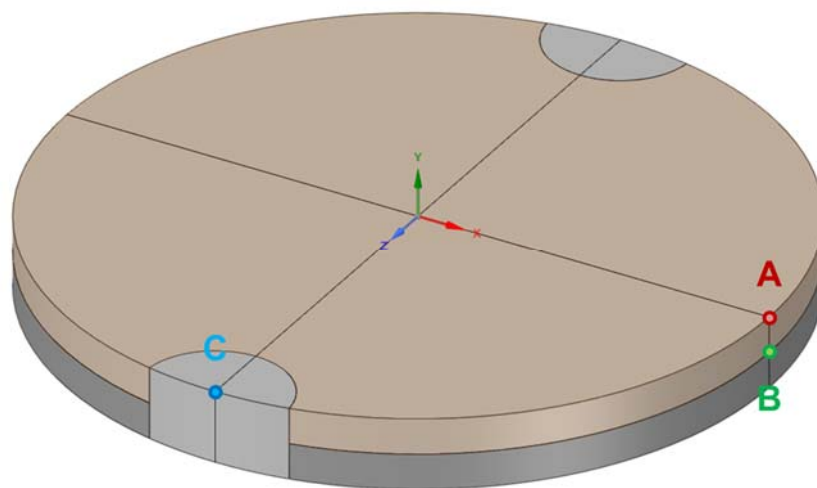


Рисунок 6 – Расположение характерных точек

Необходимо определить величины радиальных перемещений:

- для медного элемента диска в точке А;
- для стального элемента диска в точке В;
- для алюминиевой вставки в точке С.

Решение задачи необходимо выполнить с применением линейной конечно-элементной сетки.

На бланке ответов в соответствующих местах укажите ожидаемые результаты:

- полученную **величину радиального перемещения в точке А в микронах** с точностью до 0,01 мкм;
- полученную **величину радиального перемещения в точке В в микронах** с точностью до 0,01 мкм;
- полученную **величину радиального перемещения в точке С в микронах** с точностью до 0,01 мкм.

**Задание САЕ-4. Оценка эффективности радиатора электронного компонента**  
Необходимо решить задачу статической теплопроводности для группы объектов, показанных на Рисунке 7. Названия материалов для каждого из элементов приведены в соответствии с данными библиотеки материалов Autodesk Fusion 360.

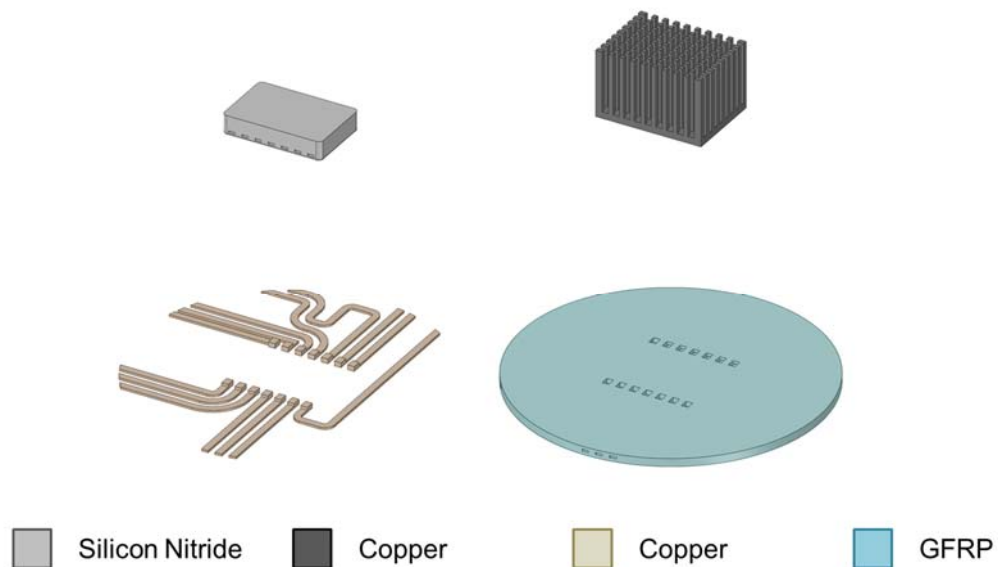


Рисунок 7 – Рассматриваемая группа объектов

Требуется выполнить моделирование состояния сборки из показанных выше объектов в двух вариантах: без радиатора и с радиатором. В результате требуется оценить значения максимальной температуры тепловыделяющего чипа из нитрида кремния (silicon nitride) для каждого из случаев.

При решении задачи **без радиатора** следует считать, что имеют место тепловые граничные условия, показанные на Рисунке 8. Необходимо отметить, что конвективный теплообмен имеет место на поверхности, а тепловыделение – в объеме. Температура внешней среды – 20 градусов Цельсия.

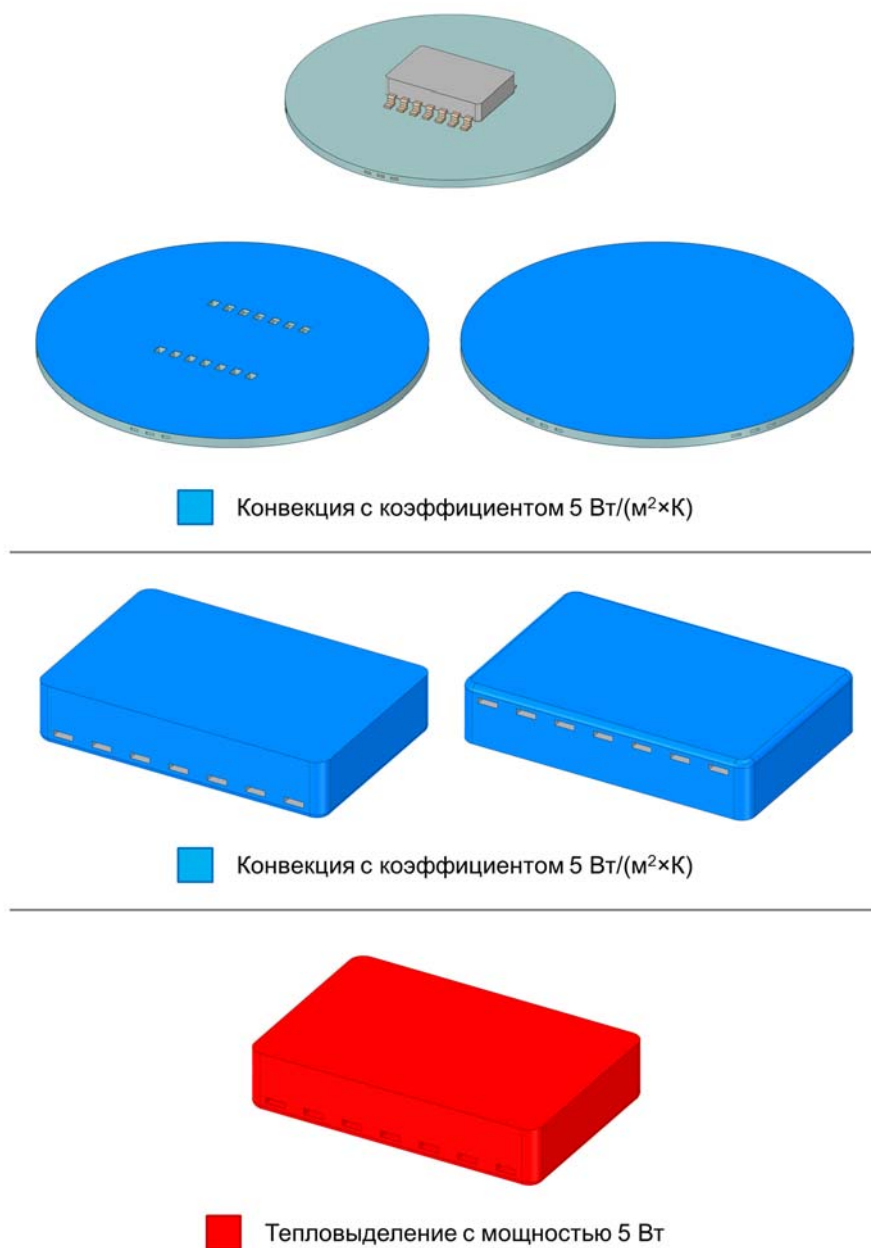


Рисунок 8 – Граничные условия для случая без радиатора

При решении задачи **с радиатором** следует считать, что имеют место тепловые граничные условия, показанные на Рисунке 9.

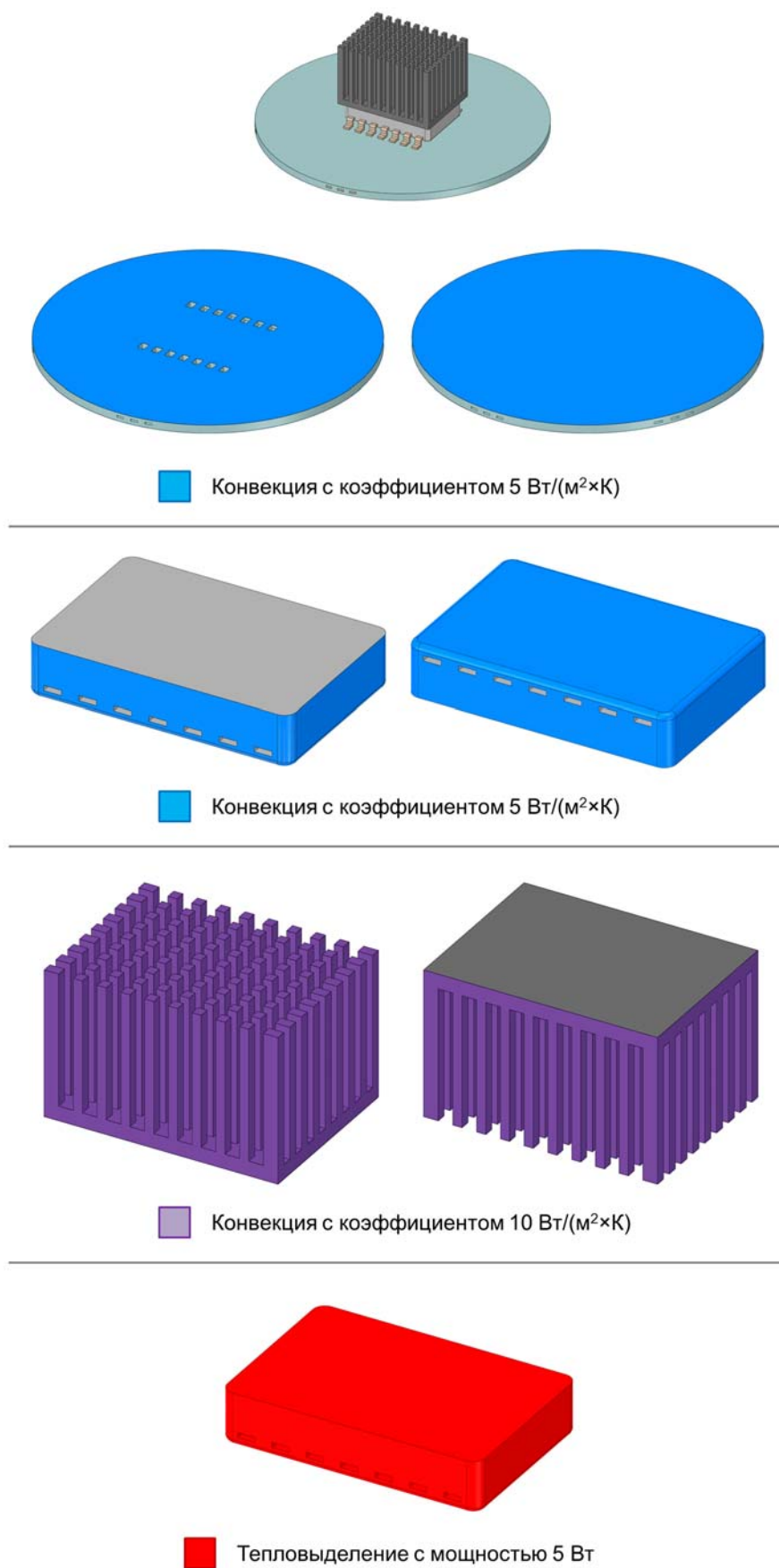


Рисунок 9 – Граничные условия для случая с радиатором

Для всех тел, находящихся в непосредственном контакте друг с другом, действует условие идеального теплового контакта. Поверхности, где отсутствуют граничные условия, считаются изолированными.

Решение задачи необходимо выполнить с применением линейной конечно-элементной сетки.

На бланке ответов в соответствующих местах укажите ожидаемые результаты:

- полученную **величину максимальной температуры электронного чипа для случая без радиатора в градусах Цельсия** с точностью до 1 градуса;
- полученную **величину максимальной температуры электронного чипа для случая с радиатором в градусах Цельсия** с точностью до 1 градуса.

### **Задание САЕ-5. Исследование собственных колебаний пластикового корпуса**

Требуется проанализировать собственные колебания корпуса изготовленного из **ABS**-пластика, характеристики которого совпадают с данными библиотеки материалов Autodesk Fusion 360. Внешний вид корпуса показан на Рисунке 10.

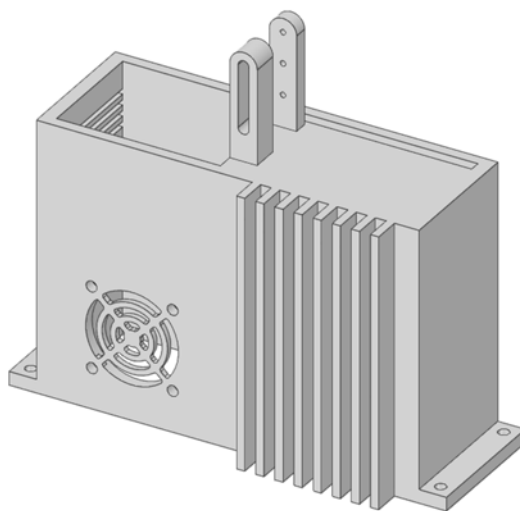
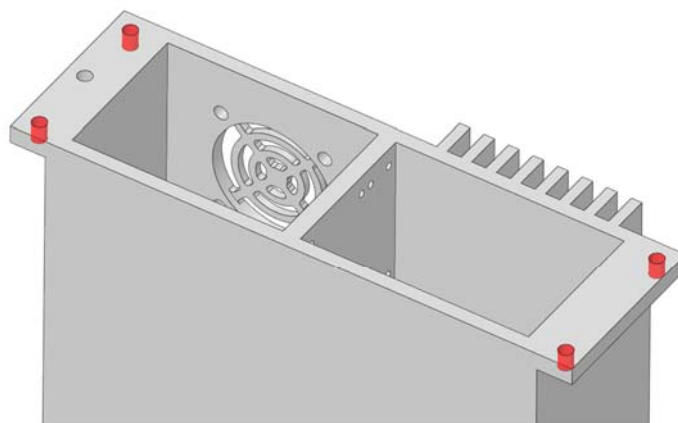


Рисунок 10 – Внешний вид корпуса

Корпус используется для монтажа электронных устройств и крепится к раме более крупного элемента системы так, как это показано на Рисунке 11. Массой электронных устройств в рамках решаемой задачи можно пренебречь.



 Запрещены перемещения UX, UY и UZ

Рисунок 11 – Схема крепления корпуса

Решение задачи необходимо выполнить с применением линейной конечно-элементной сетки.

На бланке ответов в соответствующих местах укажите ожидаемые результаты:

В бланке ответов в соответствующих местах укажите:

- полученное количество **собственных частот, имеющих величину до 1000 Гц** (в виде натурального числа);
- полученную **наименьшую частоту из диапазона 1300-1700 Гц** с точностью до 1 Гц;
- полученную **величину отношения значения наибольшей частоты из диапазона 1300-1700 Гц к значению частоты с порядковым номером 17** с точностью до 0,01.