

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**
по дисциплине «Использование метода конечных элементов в
энергомашиностроении»

Цель и задачи выполнения лабораторных работ

Лабораторные работы по дисциплине «Использование метода конечных элементов в энергомашиностроении» выполняются студентами в 8 семестре. Целью выполнения лабораторных работ является закрепление знаний полученных в ходе лекционных занятий, приобретение навыков работы расчетной программой SolidWorks Simulation (SWS) и опыта в выполнении численного моделирования.

Всего в курсе предусмотрено выполнение двух лабораторных работ:

1. Лабораторная работа №1 «Расчет балки на изгиб».
2. Лабораторная работа №2 «Исследование влияния размера КЭ на результаты расчета».

1. Лабораторная работа №1 «Расчет балки на изгиб».

Цель работы: - знакомство с интерфейсом программы *SolidWorks* и модулем КЭ расчетов *Simulation*;

- получения навыков в создании 3-х мерной геометрии;
- получение навыков в создании расчетной модели и анализе полученных результатов;
- сравнение результатов аналитического и численного расчетов.

Задача:

Выполнить расчет балки на изгиб аналитически и численным методом - в программе *SolidWorks Simulation* и сравнить полученные результаты расчетов. Расчетная схема представлена на рис.1.

Размеры балки – a , b , а также сила тяжести F , выбираются из таблицы в приложении согласно варианту задания.

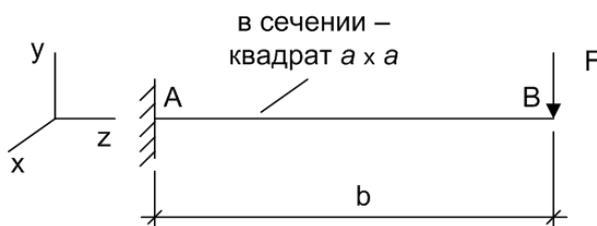


Рис. 1 Расчетная схема

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть работы.

2. Рассчитать на изгиб балку методом конечных элементов в программе *SolidWorks Simulation* и построить эпюру напряжений изгиба (распределение напряжений изгиба по длине стержня).

2.1. Построить балку в программе *SolidWorks* по размерам рис. 1 в соответствии с вариантом расчета. Построение осуществляется помощью команды в верхнем меню программы:

- «Вставка > Бобышка/Основание > Вытянуть».

На выбранной плоскости («Спереди») рисуется квадрат с размерами - $a \times a$ и после завершения эскиза, нарисованное сечение протягивается на длину b .

2.2. Создать новый анализ на прочность – «статический линейный».

2.3. Задать свойства материала балки. Материал – сталь:

- Модуль упругости – $2,1 \cdot 10^{11}$ Па;

- Коэффициент Пуассона – 0,3;

- Плотность – 7800 кг/м^3 .

2.4. Задать закрепление, моделирующее жесткую заделку.

2.5. Задать силу F , приложенную к верхнему ребру в направлении перпендикулярно оси балки.

2.6. Создать сетку конечных элементов с максимальным размером элемента, равным a (сторона сечения балки).

2.7. Запустить расчет. В результате расчета становятся доступными для просмотра напряжения, перемещения и деформации детали.

2.8. Для отображения в окне модели распределения напряжений на детали по цвету, необходимо <нажать правую клавишу мыши на пункте меню «Результаты» в дереве модели>. Из всех доступных напряжений необходимо выбрать для отображения напряжение, соответствующее напряжению изгиба (см. рис. 3).

2.9. Эпюру напряжений изгиба вдоль оси балки можно построить с помощью инструмента «Выбранный список» <нажать правую клавишу мыши на названии отображенной эпюры в дереве модели>. В окно для выбора геометрии необходимо выбрать продольное ребро балки со стороны максимальных напряжений, нажать кнопку

«ОБНОВИТЬ», а после обновления результатов нажать кнопку «» (ЭПЮРА). После этого появится окно с графиком.

3. Рассчитать напряжения изгиба в стержне аналитически. Нанести полученную эпюру на график с результатами численного расчета.

4. Сравнить полученные результаты, оценить погрешность моделирования численным методом, сделать выводы по результатам работы.

Теоретическая часть

При расчете на прочность, помимо нагрузок (сосредоточенные и распределенные силы, изгибающие и крутящие моменты) необходимо задать условия закрепления, т.е. ограничить перемещение частей детали как минимум в трех направлениях. На рис. 2 показаны возможные закрепления стержней при расчете на изгиб:

а – шарнирная подвижная опора передает вертикальное усилие на неподвижное основание (фиксирует одну степень свободы тела);

б – шарнирная неподвижная опора передает вертикальное и горизонтальное усилие на неподвижное основание (фиксирует две степени свободы);

в – заделка передает вертикальное, горизонтальное усилие и момент на неподвижное основание (фиксирует три степени свободы).

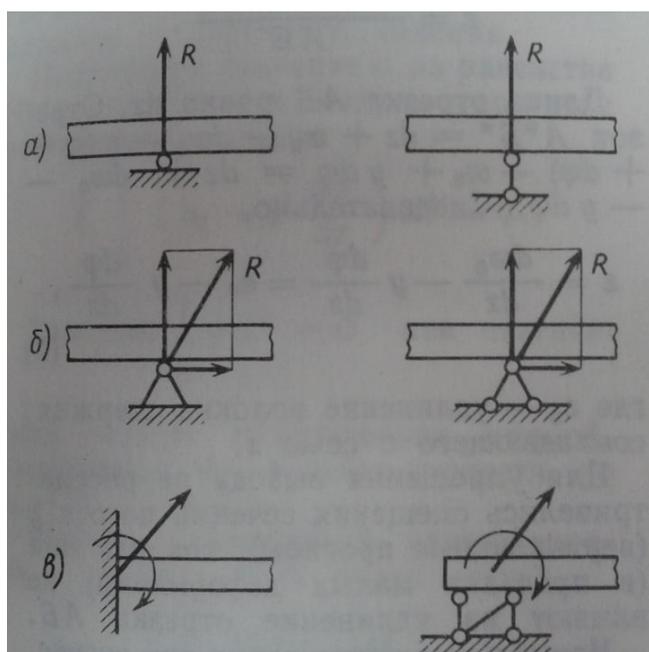


Рис. 2 Опорные закрепления балки:

а – шарнирная подвижная опора; б – шарнирная неподвижная опора; в – заделка.

К балке (см. рис. 1) приложена сила F в т. В.

В т. А балка имеет закрепление в виде жесткой заделки. При этом ограничены три степени свободы – перемещения в направлении Y и Z , а также угол поворота относительно оси X , перемещения и поворот в других направлениях мы не рассматриваем, т.к. нагрузка действует только в плоскости YZ . В результате закрепление можно заменить тремя реакциями опоры: перемещения R_y и R_z и момент реакции заделки M_x .

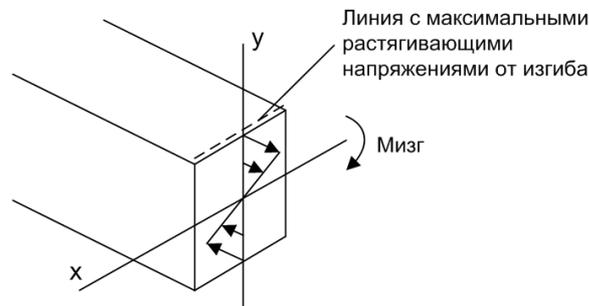


Рис. 3 Изгиб стержня

Напряжение от изгиба – это максимальное нормальное напряжение в данном сечении стержня (см. рис. 3). Величина напряжения изгиба рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{и} = M_x / W_x \text{ (Па)}, \quad (1)$$

здесь, M_x - изгибающий момент в Н*м.

Момент сопротивления изгибу стержня квадратного сечения:

$$W_x = W_y = a^3/6 \text{ (м}^3\text{)}, \quad (2)$$

где a – сторона квадрата, м.

Эпюра изгибающего момента рассчитывается по известным формулам из курса «Сопротивление материалов». На эпюре момента знак не ставится, а эпюра строится со стороны сжатых волокон. На ее основе, по формуле (1), строится эпюра напряжений изгиба.

Погрешность численного расчета можно оценить путем сравнения результатов (рассчитанных значений напряжений) с эталоном, т.е. с аналитическим решением:

$$\delta = (\sigma_{и а} - \sigma_{и ч}) / \sigma_{и а} \times 100\% \quad (3)$$

, где $\sigma_{и а}$ – напряжение изгиба (МПа), полученное в результате аналитического решения;

$\sigma_{и ч}$ – напряжение изгиба (МПа), полученное в результате численного решения;

Требования к отчету

Отчет должен содержать описание хода выполнения всей лабораторной работы (с помощью каких команд меню было выполнено то или иное действие) и скриншоты (иллюстрации) по всем основным этапам работы:

1. 3-D модель;
2. КЭ модель;
3. Эпюра напряжений на 3-D модели – заливка цветом;
4. Эпюры напряжений изгиба вдоль оси балки, полученные в результате численного расчета. Эпюра, полученная в результате аналитического расчета, нанесенная на тот же график.

По данным эпюрам необходимо рассчитать погрешность численного расчета для каждого размера КЭ.

В выводе необходимо:

- отразить результат выполненной работы;
- указать погрешность численного решения, проанализировать от чего она зависит.

Исходные данные

Сила F и размеры балки a и b выбираются из таблицы согласно варианту задания.

Таблица

Вариант задания	$a, \text{ мм}$	$b, \text{ мм}$	Сила $F, \text{ Н}$
1	10	100	100
2	20	100	200
3	30	100	300
4	10	150	400
5	20	150	500
6	30	150	600
7	10	200	700
8	20	200	800
9	30	200	100
10	10	250	200
11	20	250	300
12	30	250	400
13	10	300	500
14	20	300	600
15	30	300	700
16	10	350	800

2. Лабораторная работа №2 «Исследование влияния размера КЭ на результаты расчета».

Цель работы: - оценить влияние размера КЭ на результаты расчета.

- сравнение результатов аналитического и численного расчетов для разных размеров КЭ.

Задача:

Выполнить расчет балки на изгиб аналитически и численным методом по заданию и варианту, указанным в Лабораторной работе №1, но с размерами КЭ:

1. Размер стороны равен a .
2. Размер стороны равен $a/2$.
3. Размер стороны равен $a/4$.

Порядок выполнения работы

1. Построить балку в программе *SolidWorks* по размерам в соответствие с заданием к Лабораторной работе №1.

2. Выполнить расчет с размером КЭ a .

3. Выполнить расчет с размером КЭ $a/2$

4. Выполнить расчет с размером КЭ $a/4$.

5. Построить эпюры распределения напряжений изгиба вдоль оси балки для расчета с указанными размерами КЭ.

6. Рассчитать напряжения изгиба в стержне аналитически. Нанести полученную эпюру на графики с результатами численного расчета – с размеров КЭ равным a , $a/2$ и $a/4$.

7. Сравнить полученные результаты, оценить погрешность моделирования численным методом, сделать выводы по результатам работы.

Теоретическая часть

При расчете на прочность, помимо нагрузок (сосредоточенные и распределенные силы, изгибающие и крутящие моменты) необходимо задать условия закрепления, т.е. ограничить перемещение частей детали как минимум в трех направлениях. На рис. 2 показаны возможные закрепления стержней при расчете на изгиб:

а – шарнирная подвижная опора передает вертикальное усилие на неподвижное основание (фиксирует одну степень свободы тела);

б – шарнирная неподвижная опора передает вертикальное и горизонтальное усилие на неподвижное основание (фиксирует две степени свободы);

в – заделка передает вертикальное, горизонтальное усилие и момент на неподвижное основание (фиксирует три степени свободы).

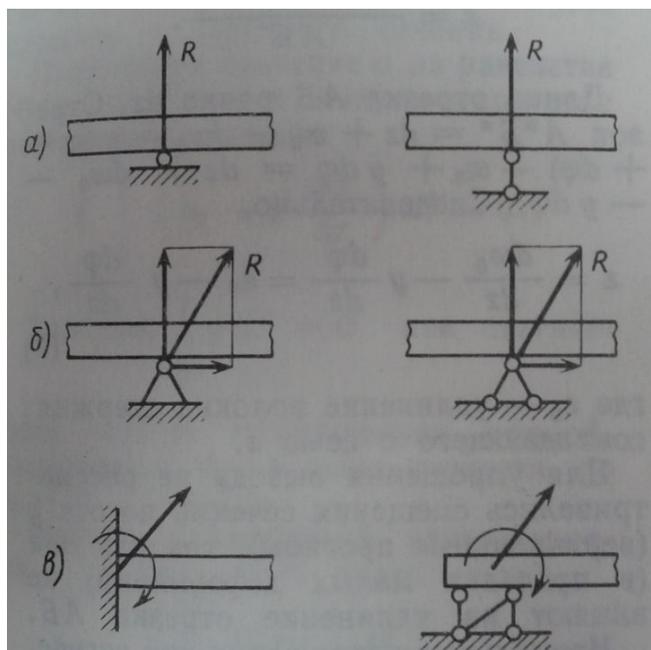


Рис. 2 Опорные закрепления балки:

а – шарнирная подвижная опора; б – шарнирная неподвижная опора; в – заделка.

К балке (см. рис. 1) приложена сила F в т. В.

В т. А балка имеет закрепление в виде жесткой заделки. При этом ограничены три степени свободы – перемещения в направлении Y и Z , а также угол поворота относительно оси X , перемещения и поворот в других направлениях мы не рассматриваем, т.к. нагрузка действует только в плоскости YZ . В результате закрепление можно заменить тремя реакциями опоры: перемещения R_y и R_z и момент реакции заделки M_x .

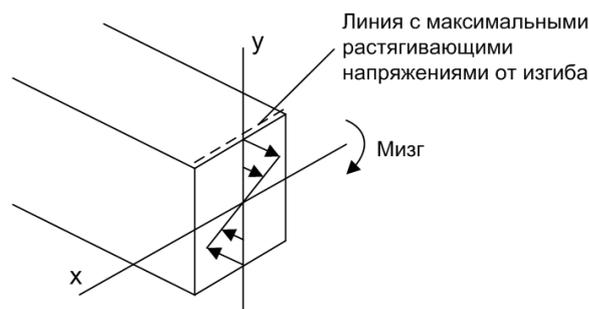


Рис. 3 Изгиб стержня

Напряжение от изгиба – это максимальное нормальное напряжение в данном сечении стержня (см. рис. 3). Величина напряжения изгиба рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{и} = Mx / Wx \text{ (Па)}, \quad (1)$$

здесь, Mx - изгибающий момент в Н*м.

Момент сопротивления изгибу стержня квадратного сечения:

$$Wx = Wy = a^3/6 \text{ (м}^3\text{)}, \quad (2)$$

где a – сторона квадрата, м.

Эпюра изгибающего момента рассчитывается по известным формулам из курса «Сопротивление материалов». На эпюре момента знак не ставится, а эпюра строится со стороны сжатых волокон. На ее основе, по формуле (1), строится эпюра напряжений изгиба.

Погрешность численного расчета можно оценить путем сравнения результатов (рассчитанных значений напряжений) с эталоном, т.е. с аналитическим решением:

$$\delta = (\sigma_{и а} - \sigma_{и ч}) / \sigma_{и а} \times 100\% \quad (3)$$

, где $\sigma_{и а}$ – напряжение изгиба (МПа), полученное в результате аналитического решения;

$\sigma_{и ч}$ – напряжение изгиба (МПа), полученное в результате численного решения;

Требования к отчету

Отчет должен содержать описание хода выполнения всей лабораторной работы (с помощью каких команд меню было выполнено то или иное действие) и скриншоты (иллюстрации) по всем основным этапам работы:

1. 3-D модель;
2. КЭ модель;
3. Эпюра напряжений на 3-D модели – заливка цветом;

4. Эпюры напряжений изгиба вдоль оси балки, полученные в результате численного расчета с различными размерами КЭ (3 графика). Эпюра, полученная в результате аналитического расчета, нанесенная на те же графики.

По данным эпюрам необходимо рассчитать погрешность численного расчета для каждого размера КЭ.

В выводе необходимо:

- отразить результат выполненной работы;
- указать погрешность численного решения, проанализировать от чего она зависит.

ЛИТЕРАТУРА

1. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонов А.И., Пономарев Н.Б. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 800 с.: ил.
2. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 448 с.: ил.
3. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с., ил.
4. Алямовский А.А. SolidWorks/CosmosWorks Инженерные анализ методом конечных элементов М.: ДМК Пресс, 2004. - 432 с., ил.
5. Расчет на прочность деталей машин: Справочник/ И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иоселевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.: ил.
6. Петров В.Б. Расчет деталей двигателей внутреннего сгорания методом конечных элементов // Методические указания к практическим занятиям., Ч.2 – Владимир: ВлГУ. – 1999,– 40с.
7. Петров В.Б. Расчет деталей двигателей внутреннего сгорания методом конечных элементов / Петров В.Б., Иванченко А.Б. // Методические указания к практическим занятиям, Ч.2 – Владимир: ВлГУ. – 2001. – 64 с.